



INSTITUTO TECNOLÓGICO  
SUPERIOR DE MISANTLA

---

RECONOCIMIENTO DEL ESTADO  
DEL TIEMPO A PARTIR DE DATOS  
DE UNA MINI-ESTACIÓN  
EMPLEANDO APRENDIZAJE  
PROFUNDO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
**MAESTRA EN SISTEMAS  
COMPUTACIONALES**

P R E S E N T A  
NAYELI GALICIA LANDA

DIRECTOR  
DR. EDDY SÁNCHEZ DE LA CRUZ

MISANTLA, VERACRUZ.

AGOSTO, 2018.



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN MAESTRÍA

FECHA: 24 de Agosto de 2018.

ASUNTO: **AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN  
DE TESIS.**

**A QUIEN CORRESPONDA:**

Por medio de la presente se hace constar que el (la) C:

**NAYELI GALICIA LANDA**

estudiante de la maestría en SISTEMAS COMPUTACIONALES con No. de Control 162T0078 ha cumplido satisfactoriamente con lo estipulado por el **Lineamiento de Posgrado para la obtención del grado de Maestría mediante Tesis.**

Por tal motivo se **Autoriza** la impresión del Tema titulado:

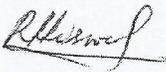
**RECONOCIMIENTO DEL ESTADO DEL TIEMPO A PARTIR DE DATOS DE  
UNA MINI-ESTACIÓN METEOROLÓGICA EMPLEANDO APRENDIZAJE  
PROFUNDO**

Dándose un plazo no mayor de un mes de la expedición de la presente a la solicitud del examen para la obtención del grado de maestría.

ATENTAMENTE

  
**M.S.C. Eddy Sánchez de la Cruz**  
Presidente



  
**DR. Rajesh Roshan Biswal**  
Secretario

  
**M.S.C. Galdino Martínez Flores**  
Vocal

Archivo.

# Dedicatoria

A mi madre y hermano, Gloria y Julio, por su apoyo, compañía y paciencia en este camino tan importante. Tantas cosas que quiero decir no caben en esta dedicatoria, pero en breve puedo decir que, ambos son mi todo y los amo como nadie, mi vida no tendría rumbo sin ustedes. Este logro es nuestro no sólo mío, los dos son mi inspiración y me dan la fuerza necesaria para seguir adelante, por eso y más les dedico con todo mi amor y cariño este trabajo de tesis.

A las personas que creyeron en mi, que me dieron consejos para salir adelante, que me apoyaron y asesoraron en este trayecto profesional, y que de alguna forma son parte de mi vida. Con mucho cariño.

**Nayeli Galicia Landa**

# Agradecimientos

A mi madre, Gloria, por sus palabras de aliento en los momentos que sentía todo perdido o la locura y estrés mientras realizaba actividades, proyectos, tareas, artículos y tesis de la maestría, por los sabios consejos, por tolerar mi mal humor estos últimos meses de posgrado, por darme cariño y comprensión, además de ser la persona que opinaba de mis trabajos para mejorarlos.

A mi hermano, Julio, por su apoyo incondicional, comprensión y paciencia. Por alegrar mis días con su buen humor, por creer en mi y por el cariño que me da.

Al Dr. Luis Alberto Morales Rosales, por su confianza, su apoyo, su amistad, su asesoramiento profesional, sus palabras motivacionales y sabios consejos que me han ayudado a continuar de forma personal, académica y profesionalmente. Le agradezco profundamente la oportunidad que me brindó para continuar con mis estudios y aceptarme en la maestría, además de escucharme, darme su apoyo y comprensión en los momentos difíciles de mi vida sin importar la distancia en la que estamos.

A las personas cercanas, amigos y familiares, que depositaron su confianza en mi y que me apoyan mucho, su amistad, sus palabras de ánimo y cariño me motivan a seguir adelante.

Al Dr. Eddy, por aceptar ser mi director de tesis, por su apoyo, su confianza, sus consejos, su asesoramiento, su dedicación, sus conocimientos y por su tiempo que me ayudaron para culminar con el proyecto y trabajo de tesis, además por tenerme paciencia y comprenderme en situaciones difíciles.

A mis revisores, Dr. Rajesh Roshan Biswal y MSC. Galdino Martínez Flores, por su tiempo para revisar y comentar esta tesis para mejorar su calidad y hacerla más profesional.

A mis amigos y compañeros de posgrado, Paco, Yose, Hugo, Pablo, Areli, Fabi, Obrayan, Salvador, Luisa, Carmen y Aurelio, por estos dos años que pasamos juntos en los que nos hicimos amigos, gracias por esas experiencias y emociones inolvidables, los quiero y aprecio, siempre los recordaré con mucho cariño.

A mis profesores de posgrado, por su tiempo ante el grupo, por transmitir sus conocimientos, por su tolerancia y guiarme en lo profesional.

# Índice general

Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Resumen	1
Motivación	1
<b>1. Generalidades</b>	<b>2</b>
1.1. Introducción . . . . .	3
1.2. Planteamiento del problema . . . . .	4
1.3. Propuesta de solución . . . . .	5
1.4. Justificación . . . . .	6
1.5. Hipótesis . . . . .	7
1.6. Objetivos . . . . .	8
1.6.1. Objetivo general . . . . .	8
1.6.2. Objetivos específicos . . . . .	8
1.7. Alcances y limitaciones . . . . .	9
1.7.1. Alcances . . . . .	9
1.7.2. Limitaciones . . . . .	9
1.8. Estructura de la tesis . . . . .	10
<b>2. Marco Teórico</b>	<b>12</b>
2.1. Clima y tiempo . . . . .	13
2.1.1. Predicción Meteorológica . . . . .	13
2.1.2. Tipos de clima . . . . .	19
2.2. Estaciones meteorológicas del SMN . . . . .	20
2.3. Misantla . . . . .	21
2.4. Herramientas . . . . .	24
2.4.1. Hardware . . . . .	24
2.4.2. Software . . . . .	29
2.5. Clasificadores . . . . .	31
2.5.1. Aprendizaje Profundo . . . . .	31
2.5.2. MultiClassClassifier . . . . .	33

<b>3. Estado del Arte</b>	<b>35</b>
<b>4. Materiales y Métodos</b>	<b>40</b>
4.1. Materiales . . . . .	42
4.2. Métodos . . . . .	43
4.2.1. Mini-estación . . . . .	43
4.2.2. Clasificación . . . . .	59
<b>5. Análisis de los Resultados</b>	<b>62</b>
5.1. Combinación de Clasificadores Ensamblados y Aprendizaje Profundo	63
5.1.1. Matriz de confusión . . . . .	64
<b>6. Conclusiones y Trabajos Futuros</b>	<b>67</b>
<b>A. Anexos</b>	<b>73</b>
A.1. Anexo 1. Código de programación Arduino . . . . .	73
A.2. Anexo 2. Gráfica de capturas . . . . .	79
A.3. Anexo 3. Interfaz Weka . . . . .	80
A.4. Anexo 4. Gráficos de los atributos en Weka . . . . .	81

# Índice de figuras

2.1.	EMAS instaladas en el estado de Veracruz . . . . .	21
2.2.	Geografía del municipio de Misantla. . . . .	22
2.3.	Municipios colindantes de Misantla. . . . .	23
2.4.	a) Arduino Mega 2560, b) DHT11 y c) Módulo bluetooth. . . . .	25
2.5.	a) Protoboard, b) Cables dupont o jumpers y c) Cable USB-B. . . . .	25
2.6.	a) Cable USB Micro B, b) Notebook y c) Smartphone. . . . .	26
2.7.	a) BMP180, b) Modulo MicroSD y c) Sensor de humedad de tierra. . . . .	27
2.8.	a) Fotorresistencia, b) Led ultrabrillante y c) Sensor detector de lluvia. . . . .	27
2.9.	a) Caja de acrílico, b) Mini protoboard y c) Placa fenólica. . . . .	28
2.10.	a) Power bank, b) Resistencias y c) Cable estañado. . . . .	29
2.11.	a) MicroSD, b) Modulo nivel de agua y c) Botella plástica. . . . .	29
4.1.	Proceso propuesto. . . . .	41
4.2.	Topología de red de la Mini-estación. . . . .	44
4.3.	Topología de red esquemático de la Mini-estación. . . . .	44
4.4.	Topología de red PCB de la Mini-estación. . . . .	45
4.5.	Mini-estación ensamblada. . . . .	46
4.6.	Área de capturas de variables atmosféricas. . . . .	47
4.7.	Mini-estación en el área de capturas. . . . .	47
4.8.	Capturas de los sensores en el monitor de Arduino. . . . .	48
4.9.	Captura de datos en formato CSV. . . . .	51
4.10.	Representación gráfica de los registros diarios. . . . .	53
4.11.	Comparación de datos del dispositivo con los pronosticadores del clima. . . . .	54
4.12.	Comparación de datos: temperatura. . . . .	55
4.13.	Comparación de datos: humedad. . . . .	56
4.14.	Comparación de datos: lluvia. . . . .	56
4.15.	Comparación de datos: Clima. . . . .	57
4.16.	a) Diseño de la app en MIT AppInventor y b) App instalada en el smartphone. . . . .	58
4.17.	a) Monitor de Arduino (IDE) y b) App Android. . . . .	59
4.18.	Interfaz WEKA con el dataset cargado. . . . .	61

# Índice de tablas

2.1.	EMAS instaladas en el estado de Veracruz. . . . .	21
2.2.	Uso del iterador con multilayer perceptron. . . . .	31
2.3.	Opciones disponibles para MultiClassClassifier. . . . .	33
2.4.	Capacidades de MultiClassClassifier. . . . .	33
4.1.	Características técnicas del DHT11. . . . .	49
4.2.	Categorías y rangos de luminosidad. . . . .	49
4.3.	Categorías para detección de lluvia. . . . .	49
4.4.	Categorías y rangos de humedad de tierra. . . . .	50
4.5.	Registros diarios del dispositivo. . . . .	52
5.1.	Resultados de la combinación <i>Clasificadores Ensamblados + Multilayer Perceptron</i> . . . . .	63
5.2.	Clasificadores con resultados altos. . . . .	64
5.3.	Matriz de confusión: <i>Multilayer Perceptron</i> . . . . .	64
5.4.	Matriz de confusión: <i>MultiClassClassifier + Multilayer Perceptron</i> . . . . .	65
5.5.	Matriz de confusión: <i>Multilayer Perceptron</i> . . . . .	65
5.6.	Matriz de confusión: <i>MultiClassClassifier + Multilayer Perceptron</i> . . . . .	65
5.7.	Matriz de confusión: <i>MultiClassClassifier + Multilayer Perceptron</i> . . . . .	66

## Resumen

En Misantla, Veracruz, los cambios de clima han afectado en diversas áreas de trabajo, principalmente a los campesinos agrícolas y ganaderos. Los campesinos dependen del estado del clima para realizar adecuadamente su trabajo para prevenir riesgos y daños en la producción agrícola y ganadera. Para una predicción meteorológica más acertada para la región, se propuso desarrollar una Mini-estación que sea de bajo costo, portable, inalámbrica y pueda capturar las variables atmosféricas por medio de sensores durante el día, para clasificar e identificar correctamente un estado del clima: soleado, nuboso o lluvioso. Los datos obtenidos de la captura se almacenaron en un dataset y se hizo la combinación de los Clasificadores Ensamblados con el Multilayer Perceptron, en los cuales se aplican los Criterios de Muestreo: el  $\frac{1}{3}$  &  $\frac{2}{3}$ , validación cruzada y muestra representativa. Las combinaciones de los clasificadores dieron como resultado que el clasificador MultiClassClassifier tuvo una correcta clasificación en los tres Criterios de Muestreo, por otra parte, el clasificador Multilayer Perceptron obtuvo buenos resultados de correcta clasificación en dos Criterios de Muestreo.

**Palabras clave:** Clasificación meteorológica, Mini-estación Meteorológica, Aprendizaje Profundo, Clasificadores Ensamblados, Criterios de Muestreo.

## Motivación

Este proyecto, con la intención de desarrollar una Mini-estación para predecir el clima fue inspirado en el comportamiento de las hormigas, pues son un indicador natural ante los cambios climáticos. Su comportamiento conlleva a un conjunto de reglas o acciones que son precisas para determinar si lloverá, hará frío o calor, si se presenta algún fenómeno como frentes fríos, aguanieve, granizo, tormentas tropicales e invernales. El estudio de su comportamiento es de alto interés, pero es de una investigación a largo plazo, puede llevar más de 12 meses en su observación e investigación, puesto que, es necesario tomar en cuenta las estaciones del año y los nuevos cambios de clima ante el calentamiento global. La observación, monitoreo, análisis y comparación de los distintos comportamientos de las hormigas es conveniente realizarse durante el día y la noche, es decir, las 24 horas. De esta forma, el comportamiento de las hormigas se puede programar y hacer la simulación en un pequeño circuito electrónico. El instinto y los elementos sensoriales de las hormigas son una manera de anunciar o predecir posibles cambios climáticos, a partir de ahí, la idea de predecir el estado del clima comenzó a llevarse a cabo. Sin embargo, por falta de tiempo para poder desarrollar la idea y cumplir con el objetivo, se delimitó a capturar datos del estado actual meteorológico para hacer combinaciones de los Clasificadores Ensamblados con el Multilayer Perceptron.

# Capítulo 1

## Generalidades

## 1.1. Introducción

En la actualidad hay sistemas y estaciones meteorológicas grandes, completos y costosos en los que se puede monitorear diferentes factores para hacer una predicción del clima para futuros días u horas, sin embargo, estos sistemas son implementados para monitorear zonas urbanas o áreas más grandes, por lo tanto, las predicciones para la mayoría de las regiones rurales no son muy precisas, además, éstas no cuentan con tecnologías por ser zonas de escasos recursos o por no contar con servicios de telefonía ni Internet. Los cambios de clima y las lluvias afectan a la población urbana y rural en el municipio de Misantla, Veracruz. En la región, los más afectados son los habitantes de la zona rural que se dedican a la producción agrícola y ganadera. Los inesperados cambios del clima perjudican tanto que no permiten a los campesinos continuar algunas actividades en sus localidades y su trabajo en el campo. Generalmente, en el municipio las fuertes lluvias, el intenso calor, frentes fríos, huracanes y otros fenómenos meteorológicos provocan consecuencias durante la producción que no son favorables para los campesinos.

El presente trabajo aporta en el desarrollo de una Mini-estación y en la combinación de Clasificadores Ensamblados, para capturar las variables atmosféricas que se presentan durante el día, sobre todo para poder clasificar el estatus climático (*lluvioso, nuboso o soleado*), esto beneficia a la población rural para conocer el estado climático y prevenir posibles riesgos en la producción del campo o para realizar algún plan de trabajo de acuerdo al estado del clima actual. Un ejemplo es la producción de café, teniendo en cuenta el estado clima los cafetaleros sabrán en que tiempo se puede secar adecuadamente el café pergamino para que siga manteniendo su esencia y calidad, de tal forma que puedan venderlo al mercado sin perdidas durante la producción. Para lograr el propósito de este proyecto se realizó la topología de red para desarrollar y programar el dispositivo, se requirió algunos sensores para capturar en tiempo real las variables atmosféricas del entorno, para que éstas pudieran ser almacenadas en un archivo de tipo CSV, posteriormente se clasificaron los datos en donde se emplea el Aprendizaje Profundo para analizar y buscar los resultados más altos y representativos de la combinación de los Clasificadores Ensamblados con el Multilayer Perceptron. Los resultados de dichas combinaciones variaron entre los clasificadores, sin embargo, un sólo clasificador tuvo los resultados más altos y representativos: *MulticlassClassifier + Multilayer Perceptron* y se realizó un análisis de la matriz de confusión de los tres Criterios de Muestreo  $\frac{1}{3}$  &  $\frac{2}{3}$ , *validación cruzada y muestra representativa*.

## 1.2. Planteamiento del problema

El pronóstico meteorológico consiste en predecir las condiciones atmosféricas de diversos lugares, zonas y áreas. El conjunto de variables del estado del clima como la temperatura, humedad, lluvia, el viento, la radiación solar, la presencia de nubes, granizo, etc., permiten interpretar el estatus actual del clima o hacer un posible pronóstico a corto plazo (unas horas) según las características del entorno, ya que es imposible saber sin un dispositivo tecnológico y con demasiada anticipación (días o semanas) cuándo va a llover, granizar, cuándo habrá olas de calor, frentes fríos u otro tipo de cambio climático, porque la predicción involucra demasiadas variables que cambian constantemente. Para poder determinar el tipo de clima, se necesita conocer el estado actual de la atmósfera, realizar observaciones vía satélite, obtener datos para ser interpretados por expertos con modelos meteorológicos [33]. Dichos modelos son generados con fórmulas matemáticas, se pueden utilizar para evaluar el estado de la atmósfera y lo que ocurrirá dependiendo del clima [33]. Los resultados de los modelos de predicción del tiempo se dan a conocer a través de los medios de comunicación y son presentados los pronósticos de forma general para los estados o para las ciudades más grandes y/o conocidas [44].

Las zonas rurales de Misantla, Veracruz, no disponen de tecnologías como estaciones meteorológicas, aparatos digitales o algunos medios de comunicación (televisión, Internet, telefonía celular, fax y periódicos) para conocer los próximos estados o cambios del clima. Los habitantes de dichas zonas son de bajos recursos y se dedican a las actividades agrícolas y/o ganadera. Para decidir las mejores temporadas de cultivo y riego, los campesinos deducen el cambio de clima con indicadores naturales como son las nubes, el viento, la neblina (a distancia), los truenos y relámpagos, calor intenso, las estrellas, entre otros factores. Los agricultores de la zona rural del municipio de Misantla, ante estos cambios de clima enfrentan diversos problemas, por ejemplo, hay ocasiones que los frentes fríos se presentan con fuertes heladas o aguanieve y eso afectan en la siembra, cosecha y toda la producción, perdiendo todo el cultivo, el trabajo y la inversión. A pesar de la existencia de los medios para informar sobre las predicciones meteorológicas, para las localidades y áreas rurales de Misantla no son totalmente acertados y precisos los datos climáticos para la zona. Las predicciones y estados del clima publicados por algunos medios son de forma general, ejemplo, para un conjunto de municipios, en el caso del estado de Veracruz por las 7 regiones territoriales (de norte a sureste del estado) y otra forma son las predicciones para cada uno de los municipios. Ante esto, el no saber exactamente el estado actual del clima y los posibles cambios que puedan haber en las próximas horas o días en las zonas rurales de Misantla, es porque el municipio no cuenta con un sistema o estación meteorológica, ni con expertos en meteorología que puedan hacer predicciones del clima para las localidades rurales y las zonas agrícolas/ganadera.

La problemática principal a la que se enfrenta este trabajo, es a la falta de tecnologías meteorológicas para dar a conocer a los campesinos los estados actuales

y cambios de clima de forma correcta y precisa, con el fin de que puedan tomar decisiones y las medidas necesarias para su labor en el campo. Los cambios de clima son repentinos e impredecibles por causa del calentamiento global y otros factores, perjudican a la zona rural del municipio por las siguientes razones:

- Lluvias intensas, la lluvia no parece hacerle daño a las siembras, sin embargo, una lluvia fuerte e intensa puede ocasionar que la tierra se ponga lodosa y hace que las semillas salgan a la superficie, esto no permite el crecimiento de los cultivos o en su caso la semilla se pudre y no sirve para la producción.
- Lluvias repentinas, algunas de estas lluvias duran poco tiempo, depende el tipo de cultivo (maíz, frijol, naranjas, aguacates, trigo, etc.) para tener cuidado en temporadas de cosecha, puesto que, no se puede mojar el producto en dicha fase por riesgo de no poderse vender al mercado.
- Calor, hay temporadas en las que se presentan olas de calor y en el campo provoca escaseo de agua, pues los cultivos necesitan de los riegos para su crecimiento y pronta cosecha.

Para la solución se propuso lo siguiente: desarrollar una Mini-estación que capture las distintas variables del estado climático y permita la clasificación precisa indicando si el día es lluvioso, nuboso y soleado, esta propuesta se explica a detalle en la siguiente sección 1.3.

### 1.3. Propuesta de solución

Para el problema expuesto en la sección anterior, se propuso elaborar una Mini-estación que pudiera capturar datos en tiempo real para clasificar tres estados del clima (*soleado*, *nuboso* y *lluvioso*) en las zonas rurales de Misantla y se pueda usar la información para pronósticar el tiempo e informar si los días son o serán soleados, lluviosos y nubosos, para hacer una mejor planificación de las actividades diarias y laborales en el campo, así como las prevenciones de riesgos a posibles desastres naturales para evitar o reducir problemas en el trabajo de producción. Este dispositivo consiste en una unidad pequeña, puesto que los componentes son pequeños y no ocupan mucho espacio, que puede funcionar inalámbricamente, sea de bajo costo, con alimentación de energía mediante un power bank, y que tenga implementados algunos sensores para capturar datos del tiempo ambiente en la zona en el que esté instalado el dispositivo, los datos de las variables son capturados cada 5 segundos y almacenados a una tarjeta SD como formato de Valores Separados por Comas (CSV). La descripción de los componentes a utilizar está en la sección 4.1 Materiales. Los dataset CSV con las capturas de datos diarios que se analizaron y compararon con los pronósticos publicados por otros medios y aplicaciones. Además los datos diarios se almacenaron en un mismo dataset, es decir, todos los archivos generados se convierten en uno sólo. El dataset se utilizó para clasificar las variables implementando

el Aprendizaje Profundo haciendo la combinación de los Clasificadores Ensamblados con el Multilayer Perceptron, este procedimiento es para obtener el porcentaje más alto, una manera de verificar los resultados finales es por medio de una matriz de confusión, que muestra las clases que contiene el dataset y la cantidad de instancias clasificadas correctamente o en la que tuvo confusión en la clasificación. Cabe mencionar, que la clasificación de las instancias del dataset son importantes porque con los resultados permiten reconocer el estado del clima de forma correcta y precisa y esa información se le puede dar seguimiento o convertirse en una aportación para futuros trabajos.

## 1.4. Justificación

El clima es diferente en cada lugar, las agencias meteorológicas hacen uso de información capturadas por satélites además tienen instalados sus equipos o estaciones meteorológicas que son grandes y costosos, son pocas las estaciones que están instaladas en los diferentes puntos del país. El clima pronosticado es general ya sea para estados o ciudades grandes, entonces, no todos los pronósticos son a la hora y lugares indicados. A pesar de existir diferentes fuentes y/o medios de información para conocer el pronóstico del tiempo, por una parte, estos no suelen ser aproximados en comunidades en la que convergen diferentes topografías pero con un alto nivel de producción agrícola y/o pecuaria, y por otra parte, regiones en la que tienen nulo o difícil acceso a este tipo de fuentes de información o bien en la que la comunidad y sus habitantes carecen o desconocen el uso de estas tecnologías. La importancia de la información del clima en este tipo de comunidades agrícolas permite al campesino planear sus actividades agrícolas estratégicas como pueden ser el abono de la tierra, actividades de siembra o de cosecha, entre otros.

En la región de Misantla no hay especialista ni expertos meteorólogos, no cuenta con una estación meteorológica. Anteriormente estaba instalado en el palacio municipal de la ciudad un sistema de alerta temprana que era un instrumento para alertar a la población en temporadas de ciclones, pues Misantla es una zona de inundación inmediata y eso la hace de alto riesgo. Dicho sistema fue desinstalado, por lo tanto, se desconoce el nivel de las precipitaciones pluviales durante los ciclones tropicales. El dispositivo propuesto como solución a la problemática es conveniente para los pobladores de las localidades rurales del municipio de Misantla, esto se debe a las características de diseño y de funciones del dispositivo, dado que es de bajo costo, es portable, de bajo consumo de energía, los sensores son los adecuados para capturar datos en tiempo real y son precisos en las capturas, además se puede hacer un registro de la información y almacenarlo como un archivo ya sea en formato CSV o TXT. Dichos formatos ayudan al proceso de clasificación aplicando el Aprendizaje Profundo para tener la información correcta del estado del clima, de esta forma la clasificación ayuda a los campesinos tener acceso a la información sin errores y de

forma precisa sobre el estado del clima, beneficiando las zonas rurales para estar alerta de posibles lluvias u otros cambios atmosféricos, de modo que puedan planear sus actividades laborales para cuidar mejor sus cultivos, siendo una manera para reducir posibles riesgos de pérdida en la producción.

De acuerdo a la literatura de la sección 3 Estado del Arte, se detecta que hay proyectos de poca similitud a este trabajo, puesto que en ellos se menciona el desarrollo de prototipos o pequeños dispositivos que capturan datos del clima como son la temperatura, humedad, viento y luz, estos datos se muestran en una pantalla y en algunos casos son registrados a un servidor por vía Internet, es decir, los dispositivos son denominados como estaciones o mini estaciones meteorológicas según su tamaño, y se instalan en diferentes puntos (campos, edificios, jardines, casas, escuelas, etc.) de una región o zona y cuentan con alguna plataforma para apreciar los datos capturados en tiempo real, sin embargo, estos trabajos solo muestran datos recién capturados pero no predicen los cambios de clima o indican posibles lluvias en las zonas en las que se encuentran instalados sus dispositivos, tampoco realizan una clasificación de los datos capturados. Por estas causas, el dispositivo de este proyecto tiene la funcionalidad de capturar en tiempo real las variables atmosféricas, para emplear en dichos registros el Aprendizaje Profundo y clasificar correctamente el estado del clima para poder predecir las posibles precipitaciones pluviales, los días soleados o nublados en la zona.

Como ya se ha mencionado, Misantla es un municipio de alto riesgo de inundación, por el río que provoca desborde e inundación rápida por causa de las fuertes y constantes lluvias, además, el tipo de suelo genera el acumulamiento y escurrimiento de agua en la sierra o zona montañosa que aumenta el nivel y cantidad de agua en el río, la población esta propensa a varias consecuencias de los fenómenos meteorológicos como sequías, inundación, derrumbes en caminos y carreteras, entre otros. A pesar de que la población urbana cuenta con servicios de telefonía, Internet y varios medios de comunicación también se pueden beneficiar con la Mini-estación propuesta, para conocer de forma precisa el estado del tiempo por medio de una clasificación y se obtengan las predicciones del clima de forma más certera para organizar las actividades diarias, eventos, los planes de trabajo, entre otras actividades.

## 1.5. Hipótesis

Combinando los Clasificadores Ensamblados y el Multilayer Perceptron en datos meteorológicos de una Mini-estación ad-hoc se clasifica correctamente el estado del tiempo en la región de Misantla, Veracruz.

## 1.6. Objetivos

### 1.6.1. Objetivo general

Diseñar y desarrollar una Mini-estación para clasificar el estado del tiempo en las zonas rurales combinando Clasificadores Ensamblados y Aprendizaje Profundo.

### 1.6.2. Objetivos específicos

1. Analizar y delimitarla problemática.
2. Revisar el estado del arte en relación a los métodos y dispositivos existentes para el pronóstico del tiempo.
3. Investigar qué parámetros o indicadores alertan a los campesinos de los cambios de clima.
4. Analizar los requerimientos de la Mini-estación para capturar datos del entorno en tiempo real.
5. Diseñar y programar la Mini-estación.
6. Calibrar los sensores para un mejor precisión en la captura de datos.
7. Establecer un horario para la captura de datos y seleccionar aplicaciones o sitios web del pronóstico del clima, para comparar los datos obtenidos.
8. Realizar la captura de las variables meteorológicas para obtener datos a través de la Mini-estación.
9. Analizar los resultados previos de las capturas y comparar con los pronósticos de las aplicaciones o sitios web de pronóstico del tiempo seleccionados.
10. Verificar y refinar el funcionamiento de la Mini-estación.
11. Combinar los Clasificadores Ensamblados y Aprendizaje Profundo para clasificar el estado del tiempo con el dataset de las capturas diarias.
12. Analizar los resultados de los experimentos.

## 1.7. Alcances y limitaciones

### 1.7.1. Alcances

- Se identificaron los estados de clima en Misantla, Veracruz.
- Se diseñó una topología de red que permita a la Mini-estación capturar las variables climáticas.
- Se programó la tarjeta Arduino y los sensores para la captura de datos, además de calibrar y ajustar los sensores para una captura precisa.
- Se protegió el ensamble de la tarjeta Arduino y sensores del agua y humedad.
- Se buscó las estaciones meteorológicas instaladas en el estado de Veracruz.
- Se capturó diariamente con la Mini-estación los datos del entorno.
- Se transfirió información de las capturas a una aplicación Android.
- Se obtuvo información del pronóstico del tiempo de algunos medios (sitios web y aplicaciones) diariamente.
- Se almacenó los datos capturados por los sensores a un dataset en formato CSV y también en un formato TXT para tenerlo como respaldo y evitar pérdida de información.
- Se realizó la clasificación del clima empleando el Aprendizaje Profundo.
- Se desarrolló una Mini-estación pequeña, portable, de bajo costo, inalámbrica y precisa en la captura de datos.
- Se pudo comparar los datos de la Mini-estación Meteorológica con los datos publicados del SMN, Yahoo! y Meteored.

### 1.7.2. Limitaciones

- La captura de datos se realizaron durante 7 u 8 horas al día aproximadamente, puesto que el power bank es de 2600 mA y alimenta a la Mini-estación en ese intervalo de tiempo.
- Los datos capturados en el dataset sólo engloba 3 meses de una estación del año, por lo tanto sólo se conocen los estados de clima de dicha estación.
- Faltó más tiempo para capturar las variables de las 3 estaciones del año faltantes.

- La Mini-estación sólo tiene un módulo de bluetooth para transferir las capturas a la aplicación Android.
- No tiene conectividad por wifi o ethernet.
- Únicamente hay una Mini-estación por lo tanto no se puede hacer una red grande para monitorear el clima de varias regiones al mismo tiempo.
- No hay una base de datos o un servidor para almacenar la información en tiempo real.
- No se patentó la Mini-estación Meteorológica.

## 1.8. Estructura de la tesis

La tesis se compone de seis capítulos que dan un orden para explicar el desarrollo del proyecto, brevemente se explican las secciones y capítulos contenidos en este documento.

- La estructura de la tesis da inicio con la sección Resumen que explica de forma general el trabajo realizado; la segunda sección es la Motivación por la cual se da inicio el proyecto, pues es la idea que inspiró el desarrollo de la Mini-estación y la clasificación del estado del tiempo.
- El primer capítulo 1 Generalidades, como su nombre lo indica, describe la problemática a la que se enfrenta el proyecto; la propuesta de solución al problema expuesto; la justificación que explica el porque hacer la Mini-estación y a quienes va a beneficiar; los objetivos que se establecieron para llegar a la meta deseada y concluir exitosamente con el proyecto; los alcances y limitaciones que el proyecto tendrá al estar terminado.
- El segundo capítulo 2 Marco Teórico, contiene las definiciones y características de algunos conceptos, métodos, herramientas y clasificadores que se destacan a lo largo del proyecto. El tercer capítulo *Estado del arte*, hace referencia a otros trabajos similares al de este proyecto, de los cuales se consideraron sus aportes teóricos y prácticos.
- El cuarto capítulo 4 Materiales y Métodos, menciona las etapas y los pasos a seguir para el desarrollo del proyecto; se describen los materiales (en hardware y software) que se usaron para la elaboración de la topología de red, el ensamble y programación de los sensores; como se llevó a cabo la calibración de los sensores y sus módulos; como se llevó a cabo la captura de datos y su respectiva comparación con otros medios del pronóstico del clima; la transmisión de datos capturados a una aplicación Android; la clasificación e información del dataset.

- El quinto capítulo 5 Análisis de los Resultados, contiene los resultados finales de la clasificación empleando el Aprendizaje Profundo y se analiza la matriz de confusión de los resultados más altos en los Criterios de Muestreo  $\frac{1}{3}$  &  $\frac{2}{3}$ , validación cruzada y muestra representativa.
- El sexto capítulo 6 Conclusiones y Trabajos Futuros, da a conocer las conclusiones finales del proyecto y las actividades que se pueden realizar para implementar o hacer uso de este proyecto en otros trabajos en un futuro.
- Finalmente, la 6 Bibliografía aparece después del sexto capítulo con todos los libros, revistas y documentos consultados para la elaboración de este trabajo; y la sección A Anexos contiene el código de programación, las figuras y gráficos de las capturas de datos.

# Capítulo 2

## Marco Teórico

## 2.1. Clima y tiempo

El *clima* se refiere al conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en una zona, tomando en cuenta mayor lapso (un estudio de años). La climatología es la disciplina que estudia el clima y sus derivaciones a lo largo del tiempo. Por otro lado, el *tiempo* describe las condiciones atmosféricas momentáneas existentes en un determinado lugar. La disciplina encargada de su estudio es la *meteorología* cuyo objetivo es predecir el tiempo que se presentará en las próximas horas, así como elaborar un pronóstico a mediano plazo [42].

Tradicionalmente, se ha conocido el clima<sup>1</sup> y el tiempo atmosférico a través del estudio de las variables que los afectan de manera más directa, como son la temperatura atmosférica, el viento que se encuentra cerca de la superficie de la tierra, las precipitaciones en sus distintas formas (lluvia, nieve, granizo), humedad, tipo y cantidad de nubes, y la radiación solar. Sin embargo, el clima y el tiempo también dependen de muchas otras variables. Además de los elementos del clima (temperatura, precipitaciones, humedad, vientos) y los factores que lo condicionan (latitud, altitud, relieve, corrientes marinas, distancia al mar) existen otros componentes del sistema planetario que interactúan con la atmósfera e influyen en su composición y dinámica, como son la biodiversidad y los suelos.

### 2.1.1. Predicción Meteorológica

La predicción o pronóstico del tiempo es el resultado del análisis que realiza un meteorólogo previsor. También es el juicio de un predictor calificado sobre la evolución futura de la situación meteorológica basado sobre un análisis [41].

Las predicciones meteorológicas son cada vez más precisas y fiables gracias a la enorme cantidad de observaciones exactas y oportunas de que se dispone, por una parte y, por otra, merced al mejor conocimiento de los procesos atmosféricos, las mejores técnicas y la mayor potencia de las computadoras. El comportamiento de la atmósfera se simula mediante modelos informatizados que realizan un análisis detallado del estado de la atmósfera en un momento determinado utilizando las últimas observaciones disponibles y luego aplican las leyes de la física para predecir lo que va a ocurrir [32]. A lo largo de los últimos 30 años, la exactitud de las predicciones meteorológicas ha ido aumentando gracias al incremento de los datos procedentes de satélites, por una parte y, por otra, merced a los adelantos realizados en materia de extracción de información útil para la modelización computarizada [31].

### Modelos de predicción

Existe un gran número de modelos que han sido desarrollados por diversas agencias y organismos meteorológicos. Los mismos implementan diversas metodologías

---

<sup>1</sup>Definición del INECC (Sitio web oficial: <https://www.gob.mx/inecc>)

para pronosticar la evolución de las diversas variables meteorológicas. A continuación se describen brevemente algunos modelos ocupados para la predicción meteorológica.

- *Modelo Weather Research and Forecasting (WRF)*. Es un sistema de cálculo numérico para simulación atmosférica diseñado para satisfacer las necesidades tanto de investigación como de predicción atmosféricas. WRF incluye dos núcleos diferentes, un sistema de asimilación de datos, y una arquitectura de software diseñada para la posibilidad de ejecuciones distribuidas o paralelas y la escalabilidad del sistema. WRF implementa una extensa gama de aplicaciones meteorológicas en escalas que van desde los metros a los miles de kilómetros [13].
- *Global Forecast System (GFS) o Sistema Global de Predicción*. Es un modelo numérico de predicción meteorológica creado y utilizado por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica estadounidense. Este modelo matemático se actualiza cuatro veces al día con predicciones que alcanzan los 16 días (384 horas), pero su resolución espacial y temporal decrece con el tiempo. Por lo general se acepta que las predicciones del GFS no ofrecen demasiada fiabilidad a más de 7 días vista, siendo mayoría los institutos y agencias de meteorología nacionales los que prescindan de los resultados ofrecidos por el GFS que vayan más allá de 10 días (principalmente debido a que no hay otros modelos a 16 días para comparar las predicciones) [19].
- *Modelo WAVEWATCH III (WWIII)*. Es un modelo de tercera generación a sido desarrollado en por la Marine Modeling Branch de el Environmental Modeling Cener de el National Center for Environmental Prediction (NCEP). En la práctica el modelo WAVEWATCH fue diseñado para actividades en la investigación como para actividades operativas. Las variables que se pronostican con el modelo WAVEWATCH son altura significativa y dirección, periodo da altura significativa, altura y dirección de marejada y periodo y dirección de marejada. El pronóstico se realiza empleando la información del WRF y se corre a las horas [24].
- *Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio*. Es una organización intergubernamental independiente integrada por 21 Estados miembros europeos y 13 Estados asociados. Se constituyó en 1975 y tiene su sede en Reading, Inglaterra. El objetivo del Centro es desarrollar y operar de forma regular modelos y sistemas de asimilación de datos que simulen la dinámica, termodinámica y composición del fluido (atmósfera y océanos) que envuelve la Tierra, con vistas a proporcionar predicciones por medio de métodos numéricos [20].
- *Navy Operational Global Atmospheric Prediction System (NOGAPS)*. Proporciona orientación numérica y productos en apoyo de una amplia gama de requi-

sitos atmosféricos y oceanográficos de la Armada. El componente del modelo de pronóstico de NOGAPS es el corazón del sistema y representa un esfuerzo de desarrollo de varios años realizado por los científicos de la Dirección Atmosférica del Laboratorio de Investigación Atmosférica y Oceanográfica Naval [18].

Entre los modelos es especialmente renombrado el modelo global GFS (Global Forecast System) de la NOAA (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos). La información del GFS se puede consultar libremente en su página web. Sin embargo, el modelo global del ECMWF está considerado como el más fiable. En el Sistema Meteorológico Nacional para el pronóstico de clima, en su sitio web oficial muestra las referencias de los modelos GFS y WRF en el visualizador gráfico de modelos numéricos, visualizador tabular de modelos numéricos, índice Galvez-Davison, meteogramas, termogramas. El modelo WRF se aplica en la sección SIPROMAT y el modelo ECMWF lo aplican en la sección verificación de modelos numéricos [33].

## Instituciones

Las instituciones u organizaciones que se dan a conocer a continuación tienen sus enlaces de forma oficial, éstos tienen como propósito trabajar para poder dar diagnósticos más certeros del cambio de clima y algunos otros son para difundir la información con imágenes satelitales, avisos especiales en distintos medios de comunicación, boletines, entre otros, que son dirigidos al público en general, a diversas empresas, institutos u organizaciones dedicadas a la meteorología, escuelas, institutos de gobierno, etc.

*La Organización Meteorológica Mundial (OMM)* es un organismo especializado de las Naciones Unidas, integrado por 191 Estados y Territorios Miembros. Es el portavoz autorizado del sistema de las Naciones Unidas sobre el estado y el comportamiento de la atmósfera de la Tierra, su interacción con la tierra y los océanos, el tiempo y el clima que genera, y la consiguiente distribución de los recursos hídricos [30]. Como el tiempo, el clima y el ciclo del agua no conocen fronteras nacionales, la cooperación internacional es esencial para el desarrollo de la meteorología y la hidrología operativa, así como para recoger los beneficios derivados de su aplicación. La OMM proporciona el marco en el que se desarrolla esta cooperación internacional.

El *Servicio Meteorológico Nacional (SMN)* es el organismo encargado de proporcionar información sobre el estado del tiempo a escala nacional y local en nuestro país. El Servicio Meteorológico Nacional, depende de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la cual forma parte de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Los objetivos del SMN se concentran en la vigilancia continua de la atmósfera para identificar los fenómenos meteorológicos que pueden afectar las distintas actividades económicas y sobre todo originar la pérdida de vidas

humanas. El SMN también realiza el acopio de la información climatológica nacional [33].

*La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)* preserva las aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes para su administración sustentable y garantizar la seguridad hídrica con la responsabilidad de los órdenes de gobierno y la sociedad en general. Es una institución de excelencia en la preservación, administración de las aguas nacionales y la seguridad hídrica de la población [12]. Sus objetivos es fomentar en la población una cultura de prevención y atención de emergencias que incluyan información sobre las causas y efectos del cambio climático, evaluar los efectos del cambio climático en las variables del ciclo hidrológico, medir y evaluar los parámetros que inciden en el cambio climático, así como promover y apoyar la investigación, el desarrollo y la transferencia tecnológica, en materia de medidas de adaptación ante el cambio climático [11].

*La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)* incorpora en los diferentes ámbitos de la sociedad y de la función pública, Criterios de Muestreo e instrumentos que aseguren la óptima protección, conservación y aprovechamiento de los recursos naturales del país, conformando así una política ambiental integral e incluyente que permita alcanzar el desarrollo sustentable [10]. Para cumplir con lo anterior, la SEMARNAT, sus tres subsecretarías y los diversos Órganos Desconcentrados y Descentralizados que forman parte del Sector Ambiental Federal, trabajan en cuatro aspectos prioritarios: la conservación y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y su biodiversidad, la prevención y control de la contaminación, la gestión integral de los recursos hídricos y el combate al cambio climático.

*El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)* se dedica a generar e integrar conocimiento técnico y científico e incrementar el capital humano calificado para la formulación, conducción y evaluación de políticas públicas que conlleven a la protección del medio ambiente, preservación y restauración ecológica, crecimiento verde, así como la mitigación y adaptación al cambio climático en el país. Buscan consolidar el liderazgo del Instituto en la generación e integración de conocimiento científico y tecnológico, como referente nacional e internacional, que contribuye a la toma de decisiones, formulación, conducción y evaluación de políticas públicas en las materias de ecología y cambio climático [7].

## **Indicadores naturales**

Diversas especies de la flora y fauna tienen un comportamiento que les permite conocer o sentir los cambios de clima. Para detectar algunos indicadores basta con observar y poner atención al entorno, el tener contacto directo con la naturaleza hace más fácil percibir los cambios de clima. A continuación se presentan los indicadores más comunes que pueden detectarse en zonas urbanas y rurales.

- **Nubes:** Ciertas formaciones de nubes pueden alertar sobre el clima. Nubes blancas significa un buen tiempo, mientras que las nubes oscuras indican probablemente tormenta.
- **Niebla:** La niebla por la mañana indica que el día será despejado.
- **Cielos rojos:** El resplandor amarillo naranja está relacionado con lluvias, y si esta muy rojizo se avecina una tormenta.
- **Cabello:** Se dice que si alguien tiene el cabello rizado y se pone después encrespado, significa que la humedad es alta. Así que habrá lluvias o tormentas.
- **Humo:** Si el humo va hacia arriba, el clima será despejado. Si el humo se mantiene cerca del suelo, lloverá en poco tiempo.
- **Olfato:** Se puede detectar la humedad con el olor de la tierra en el aire. Además, se detecta los aromas que emiten las plantas y hierbas por la misma humedad, eso es señal de que habrá lluvias.
- **Aves:** Cuando los pájaros vuelan alto en el cielo, el clima será estable. Si vuelan más cerca del suelo o dejan de volar y ninguna ave se ve en el cielo, es seguro que lloverá. Análogamente, muchas aves presentan conductas significativas desde el punto de vista que estamos considerando, y así el pinzón, la oropéndola y el grajo, cambian totalmente su canto al presentir la llegada de la lluvia [39].
- **Abejas:** Ante los cambios de clima, en especial por lluvias y humedad, las abejas se amontonan en sus colmenas para
- **Hormigas:** Dependiendo de la actividad de las hormigas puede significar lluvias, tormentas, posiblemente desastres naturales, intenso calor o frío. Aller (2007), Cuando las hormigas se desplazan hacia terrenos más altos, se suele interpretar que va a llover pronto, ya que perciben la caída de la presión del aire y su instinto de supervivencia les indica que tienen que migrar a un terreno más elevado para evitar ahogarse [1].
- **Ganado:** Cuando se acerca una tormenta, el ganado se junta, se agrupan para mantenerse protegidos y secos.

- **Ranas:** Es conocido que las ranas al croar fuerte comenzará la lluvia.
- **Cielo nocturno:** Durante la noche, si el cielo esta despejado y se pueden apreciar demasiadas estrellas significa que el día siguiente la temperatura será muy fría.
- **Viento:** Si el viento sopla fuerte se aproxima una tormenta, si es moderado solo hará frío.
- **Gallos:** Si en la noche o tarde los gallos cantan significa que habrá un cambio de clima para el día, es decir, si hace buen clima y un gallo canta para el día hará frío.
- **Grillos:** Cantan más rápido cuando hace calor y más lento cuando hace frío. Los grillos son como un termómetro, una forma para saber la temperatura es que se haga un calculo [1], donde se cuenta las veces que un grillo hace su sonido en un cierto tiempo en segundos y se realiza una suma, resta o división con ciertos valores. No hay algo preciso con esta forma.
- **Temperatura y humedad:** Si el clima es frío y húmedo, hay mucha probabilidad de que hayan precipitaciones pluviales, de lo contrario estará despejado y con calor.
- **Cabañuelas:** Es la tradicional forma de pronosticar el clima para el año en curso, que consiste de observar el clima en los primeros días del año, es decir, en el mes de enero. Cada día representa un mes iniciando de forma ascendente (enero-diciembre) y después descendente (diciembre-enero), para esto se necesita una bitácora, observar diariamente el clima y hacer anotaciones para hacer el procedimiento correctamente.

Marroquín, a todo el conjunto de indicadores naturales los denomina como biopredictores meteorológicos e indica que los animales y plantas tienen un mecanismo de aviso. Siendo tantos biopredictores la recopilación de todas estas experiencias podrían llevar a la creación de un *Inventario de Biopredictores* [29]. Cabe mencionar, que los indicadores descritos anteriormente no son 100 % fiables para una predicción de largo plazo (días o semanas), hay otros factores y variables atmosféricas que pueden interferir, por eso, es conveniente tomar en cuenta los indicadores naturales para predicciones de pequeños intervalos de tiempo. Además no todos los comportamientos o mecanismos de aviso se presentan en un mismo momento o con

sincronía. Los bioindicadores son buenos auxiliares para hacer una predicción a corto plazo (algunas horas o de un día a otro); al no tener una tecnología para conocer los pronósticos y predicciones del clima, la mejor opción es la misma naturaleza para detectar y calcular en cuanto tiempo son los cambios climáticos.

### 2.1.2. Tipos de clima

En distintos lugares de nuestro planeta existen diferentes tipos de clima. También en distintas regiones del país se encuentran lugares con diversos climas. Estas diferencias se deben a tres razones principales.

1. *La distancia al Ecuador y a los polos.* Los lugares más cálidos son los que se encuentran cerca del Ecuador. Por el contrario, los lugares más fríos son los situados cerca de los polos. Esto se debe a la forma en que la Tierra recibe los rayos solares [37].
2. *La altitud.* Cuanto más alto en relación con el nivel del mar esté un lugar, más frío será. Por ejemplo, en algunos volcanes de México hay un clima cálido o templado al pie del volcán y nieves perpetuas, con mucho frío, en la cima [37].
3. *La distancia al mar.* Cuanto más cercano al mar, un gran lago o río se encuentre en lugar, su temperatura será menos extrema. Es decir, la cercanía del agua ayudará a que sean menos calientes los lugares cálidos y a que haga menos frío en los lugares fríos. Esto se debe a que el agua se enfría o se calienta mucho más lentamente que la tierra. Entonces el agua sirve para moderar la temperatura [37].

En México hay cuatro tipos de climas: clima cálido húmedo, clima cálido semihúmedo, clima templado y clima seco.

1. *El clima cálido húmedo también se le llama clima tropical.* En los lugares con este clima hace mucho calor durante todo el año, no importa si es verano o invierno, y llueve todo el año o casi todo el año [21].
2. *Clima cálido semihúmedo.* Hay otros lugares donde también hace calor todo el año, pero llueve menos. Las lluvias son abundantes en verano, pero escasas el resto del año [21].
3. *Clima templado.* El clima templado tiene grandes variaciones a lo largo del año. En verano puede hacer tanto calor como en los climas cálidos. En invierno hace frío y en algunas zonas puede llegar a nevar. En México, en las zonas de clima templado suele llover durante el verano [21].
4. *Clima seco.* En los lugares de clima seco hace calor en el verano y frío en el invierno. También suele hacer frío durante las noches, y mucho calor en el día. En los lugares de clima seco llueve muy poco durante todo el año. En algunos las lluvias se producen durante el verano y en otros durante el invierno [21].

## Clima del estado Veracruz de Ignacio de la Llave

Los climas que predominan en el estado<sup>2</sup> son cálido subhúmedo 53.5 % y cálido húmedo 41 %, estos se localizan en la Llanura Costera del Golfo Norte y Sur; el 3.5 % presenta clima templado húmedo, el cual se localiza en las partes altas de las zonas montañosas y el 1.5 % presenta clima templado, localizado también en las partes altas de la montaña; el 0.5 % es seco y semiseco localizado en la región oeste del estado; y finalmente, un pequeño porcentaje (0.05 %) es clima muy frío y se encuentra en las partes altas del Pico de Orizaba y Cofre de Perote. La temperatura media anual es de 23°C, la temperatura máxima promedio es de alrededor de 32°C y se presenta en los meses de abril y mayo; la temperatura mínima promedio es de 13°C y se presenta en el mes de enero. La precipitación media estatal es de 1500 mm anuales, las lluvias se presentan en verano en los meses de junio a octubre; en la región colindante con Tabasco se presentan todo el año. Los climas cálidos húmedos y subhúmedos propician el desarrollo de una gran variedad de cultivos tales como: cítricos, mango, café, arroz, piña, vainilla, plátano, caña de azúcar y maíz, entre otros [15].

## 2.2. Estaciones meteorológicas del SMN

Las estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional están instaladas en diversos puntos de cada estado, algunos están transmitiendo información y otros no, es decir, hay estaciones activas, en mantenimiento (intermitentes) e inactivas. Las estaciones son automáticas, están conformadas por varios sensores, capturan datos y los transmiten vía satélite, además la estaciones son atendidas por el personal a cargo para su mantenimiento. En el estado de Veracruz hay 12 Estaciones Meteorológicas Automáticas<sup>3</sup> (EMAS) instaladas y sólo una no transmite información (ver Figura 2.1); 10 estaciones se ubican en el sur, 2 están instaladas en el centro y norte del estado (Tabla 2.1).

---

<sup>2</sup>Información con base en INEGI. Carta de Climas 1:1 000 000.

<sup>3</sup>Fuente: <http://smn.cna.gob.mx/es/emas>

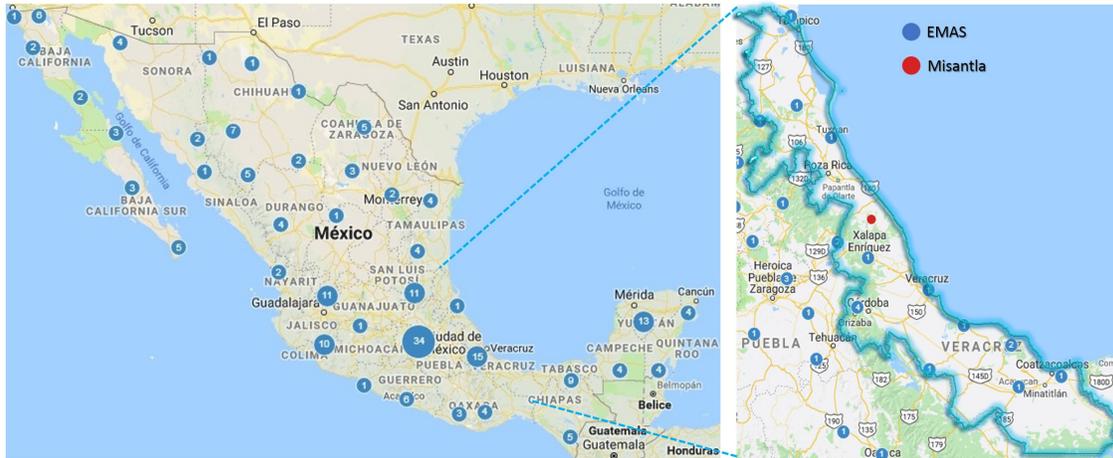


Figura 2.1: EMAS instaladas en el estado de Veracruz

Tabla 2.1: EMAS instaladas en el estado de Veracruz.

Municipio	Latitud N	Longitud N	Altitud (m)	Instalación
Acayucan	17°58'36.9"	093°09'20"	4	26/12/2003
Alvarado	18°42'54"	095°37'57"	113	29/03/2000
Cd. Aleman	18°11'23"	096°05'53"	40	28/03/2000
Citlaltepec	21°20'04"	097°52'43"	211	22/02/2006
Córdoba	18°53'24.22"	096°55'23.17"	852	21/12/2007
Coscomatepec	19°03'57.7"	097°02'27.53"	1495	21/08/2013
La cangrejera	18°06'21"	094°19'53"	34	03/04/2000
Loma Grande	18°55'31"	097°14'13"	2722	09/10/2013
Los Tuxtlas I	18°35'03.1"	095°04'25.2"	117.245	05/11/2012
Los Tuxtlas II	18°22'30.1"	094°55'51.99"	915.144	06/11/2012
Perote	19°32'42.6"	097°16'06.2"	2410	13/07/2012
Presas Tuxpango	18°50'44.4"	097°02'22.0"	965.294	05/11/2012

### 2.3. Misantla

El estado de Veracruz de Ignacio de la Llave representa el 3.7% de la superficie del país. Se ubica al norte 22°28'18", al sur 17°08'13" de latitud norte; al este 93°36'29", al oeste 98°40'54" de longitud oeste. Misantla es el municipio que se ubica en la zona montañosa y centro del estado de Veracruz (Figura 2.2). Geográficamente tiene las coordenadas entre los paralelos 19° 46' y 20° 09' de latitud norte; los meridianos 96° 45' y 97° 00' de longitud oeste; a una altura de 305 msnm [9]; la altitud oscila de los 10 a los 1900 m. Misantla ocupa el 0.73% de la superficie del estado, cuenta con 242

localidades y una población total de 59 980 habitantes [8]. Colinda al norte con los municipios (Figura 2.3) de Martínez de la Torre, San Rafael y Nautla; al este con los municipios de Nautla, Vega de Alatorre, Colipa y Yecuatla; al sur con los municipios de Yecuatla, Chiconquiaco, Landero y Coss, Miahuatlán, Tonayán y Tenochtitlán; al oeste con los municipios de Tenochtitlán, Altotonga, Atzalan y Martínez de la Torre (Inegi, 2009). El clima de Misantla en temperatura tiene un rango de 20°C - 26°C, la precipitación es de rango 1900 mm - 2100 mm. Es semicálido húmedo con lluvias todo el año (45 %), cálido húmedo con lluvias todo el año (38 %) y está creciendo sobre terrenos previamente ocupados por bosque y pastizal, cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (17 %) [8]. En el sector agrícola predomina el cultivo del café en la parte alta; seguido por el de caña de azúcar, plátano y vainilla a mediana altitud, y cítricos, maíz, frijol y chile en la parte baja. La agricultura es de temporal y se efectúa en una superficie de 3337 hectáreas y en 5783 unidades de producción rural. Para el periodo 1993/94 había 4500 hectáreas con plantaciones de café, por las características climáticas y edafológicas, la región es potencialmente apta para la producción de macadamia, litchi, rambután, guanábana, maracuyá, carambolo, chico zapote y papaya [38]. El uso del suelo para la agricultura en Misantla es el 34 % [9].

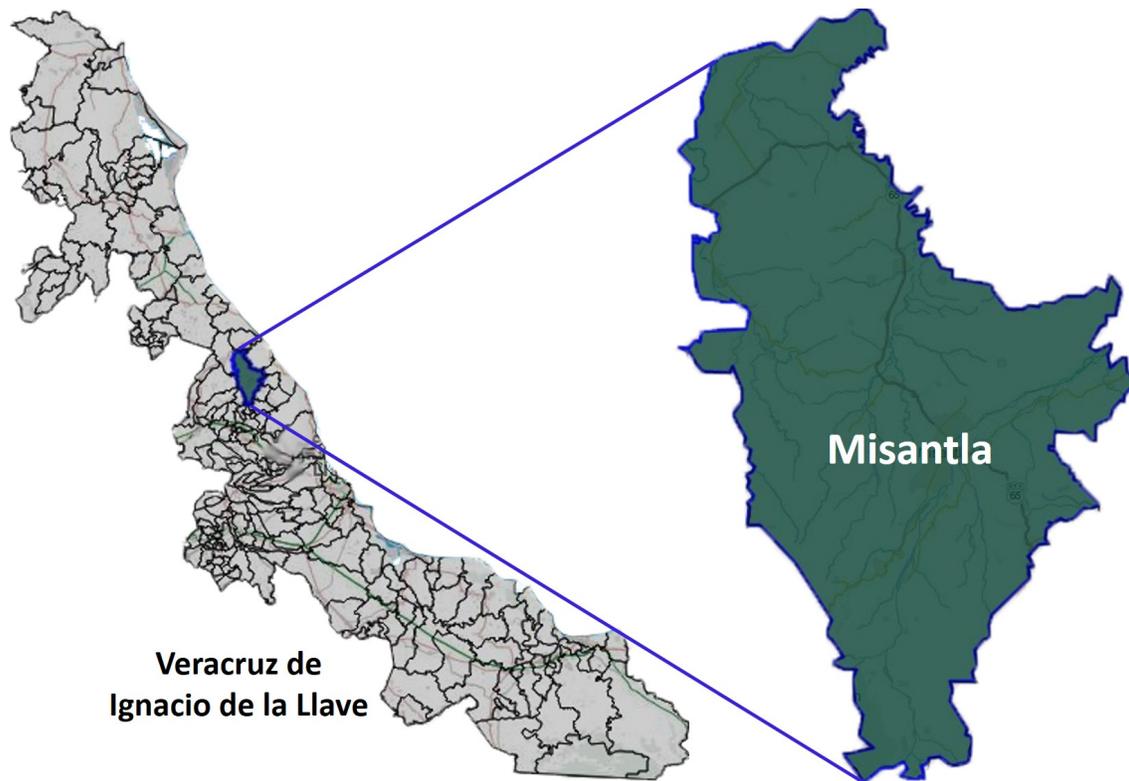


Figura 2.2: Geografía del municipio de Misantla.



Figura 2.3: Municipios colindantes de Misantla.

Una de las actividades económicas más importantes del municipio, después del cultivo de café, sea la ganadera, que incluye la cría y engorda de ganado bovino y que se realiza en una superficie de 16,744 hectáreas [9]. En menor escala se cría y engorda ganado porcino, ovino, caprino y aves. La zona urbana tiene el 1% como uso del suelo [9], además la zona está creciendo sobre suelo Aluvial del Cuaternario, en lomerío de basalto y lomerío con llanuras; sobre área originalmente ocupada por suelo denominado Phaeozem [38].

## 2.4. Herramientas

En las siguientes secciones se especifican el hardware que se usó para el ensamble de los sensores a la tarjeta Arduino y crear el dispositivo, así como el software para realizar la programación de la aplicación Android, la programación de la Mini-estación y la combinación de los Clasificadores Ensamblados y el Aprendizaje Profundo.

### 2.4.1. Hardware

**Arduino MEGA 2560** está diseñado para proyectos que requieren más pines de entrada y salida, más memoria de bocetos y más memoria RAM. Con 54 pines digitales de E/S, 16 entradas analógicas y un espacio más grande para su boceto es la placa recomendada para impresoras 3D y proyectos de robótica. Esto le da a los proyectos un montón de espacio y oportunidades que mantienen la simplicidad y eficacia de la plataforma Arduino (Figura 2.4.1a).

**DHT11** sensor digital de temperatura y humedad es un sensor compuesto contiene una salida de señal digital calibrada de la temperatura y la humedad. Aplicación de una tecnología dedicada de recolección de módulos digitales y la temperatura y la tecnología de detección de humedad, para garantizar que el producto tiene una alta fiabilidad y excelente estabilidad a largo plazo. El sensor incluye un sentido resistivo de componentes húmedos y dispositivos de medición de temperatura NTC, y conectado con un microcontrolador de alto rendimiento de 8 bits (Figura 2.4.1b).

**Módulo bluetooth BC04** (por puerto serie TTL UART) es actualmente el más poderoso. El módulo usa Blue2.0, puede ser configurado en modo Maestro y Esclavo por Hardware o por Software. El BC04 es mejor que los módulos bluetooth HC05, HC06. Soporta hasta 29 comandos AT, velocidad de transmisión de retroalimentación automática 1200 hasta 1382400 baudios, su cobertura es de hasta 15 metros (al aire libre o la línea de vista), es compatible con los estándares Bluetooth v2.1 + EDR, USB v1.1 / 2.0 y funciona con cualquier adaptador Bluetooth USB (Figura 2.4.1c).

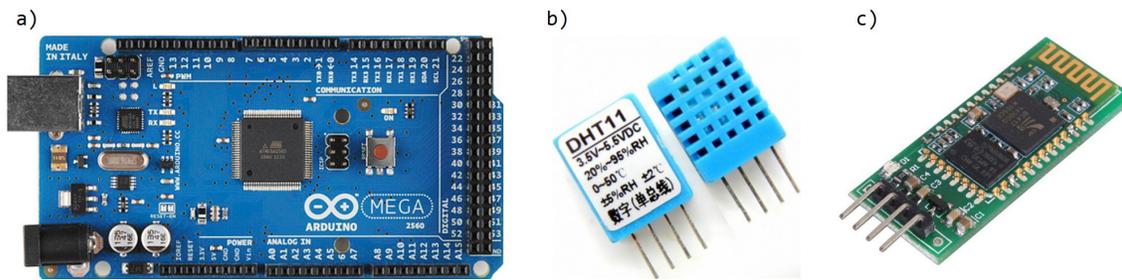


Figura 2.4: a) Arduino Mega 2560, b) DHT11 y c) Módulo bluetooth.

**Protoboard** es una especie de tablero con orificios, en la cual se pueden insertar componentes electrónicos y cables para armar circuitos. Como su nombre lo indica, esta tableta sirve para experimentar con circuitos electrónicos, con lo que se asegura el buen funcionamiento del mismo (Figura 2.5a).

**Cables dupont** es un tipo de socket rectangular de plástico que a su vez tiene en su interior dos o más sockets metálicos con un espacio entre ellos de 0.2 mm hechos de tal manera que cuando se introducen y se empujan hacia los pines de un circuito, éstos cierran el circuito cubriendo completamente los pines, resultando en una conexión temporal, es de ahí que se conozcan como cables dupont hembra o cables dupont macho. Estos cables también son conocidos como cables jumpers (Figura 2.5b).

**Cable USB-B** dispone de un conector USB-A macho y un conector USB-B macho que proporcionan una conexión de alta calidad a periféricos USB 2.0. Este cable es para conectar la tarjeta Arduino a la computadora y para la alimentación de energía de la tarjeta (Figura 2.5c).

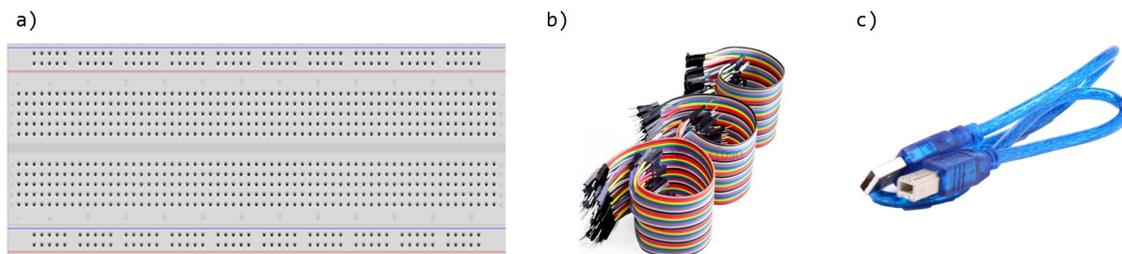


Figura 2.5: a) Protoboard, b) Cables dupont o jumpers y c) Cable USB-B.

**Cable USB Micro B** dispone de un conector USB A macho y conector USB Micro B macho, lo cual permite una conexión de alta calidad entre dispositivos móviles USB 2.0 (por ejemplo, smartphones BlackBerry® o Android, cámaras digitales, tabletas, sistemas GPS, etc.) que utilizan un conector Micro USB y ordenadores equipados con USB, para tareas cotidianas como la sincronización de datos y la transferencia de archivos (Figura 2.6a).

**Notebook Sony Vaio**<sup>4</sup>, Intel Core i3 2370M / 2.4 GHz, Microsoft Windows 7 Home Basic 64-bits, RAM 6 GB y HDD 320 GB (Figura 2.6b).

**Smartphone Lanix Ilium LT500**<sup>5</sup>, ARM Cortex-A7 / 1100 MHz, Android 5.1 Lollipop 32-bits RAM 1 GB y almacenamiento interno de 8 GB.(Figura 2.6c).

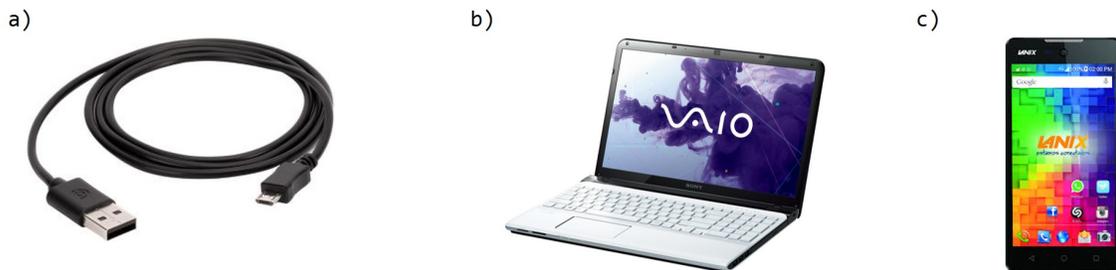


Figura 2.6: a) Cable USB Micro B, b) Notebook y c) Smartphone.

**BMP180** es un sensor de presión atmosférica de alta precisión. Está diseñado para leer la presión atmosférica y de esta forma estimar indirectamente la altura sobre el nivel del mar. Lo que mide es la presión absoluta (barométrica) y la temperatura para determinar con mayor exactitud la altitud. Es pequeño y de bajo consumo de corriente (Figura 2.7a).

**Modulo Micro SD o adaptador de tarjeta Micro SD** nos permite insertar una memoria Micro SD que son las más comunes en el mercado, el modulo se puede alimentar con 3.3V o 5V usando los pines respectivos. El modulo se usa para almacenar en una tarjeta micro SD los datos capturados por los sensores en los formatos CSV y TXT (Figura 2.7b).

**Sensor de humedad de tierra** consiste en una sonda (YL-69) con dos terminales separados adecuadamente y un módulo (YL-38) que contiene un circuito comparador LM393 SMD (de soldado superficial) muy estable, un led de encendido

<sup>4</sup>Especificaciones <https://esupport.sony.com>

<sup>5</sup>Especificaciones <https://lanix.com/mx/smartphone>

y otro de activación de salida digital. Diseñado para detectar la humedad en la tierra, es decir, la medición de humedad puede ser analoga con valores 0 (húmedo) y 1023 (seco) o de forma digital determinando un umbral de medición(Figura 2.7c).

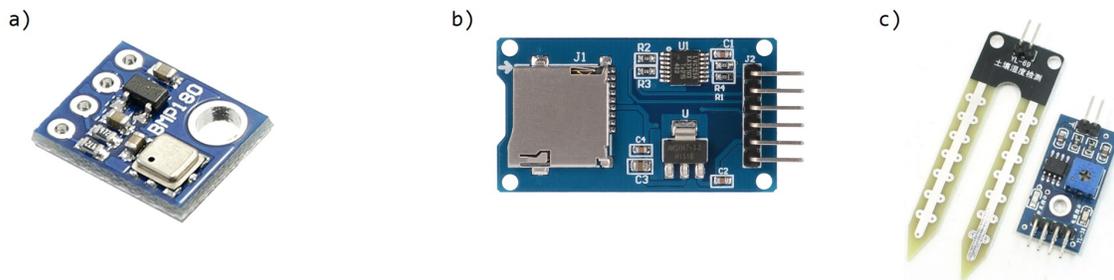


Figura 2.7: a) BMP180, b) Modulo MicroSD y c) Sensor de humedad de tierra.

**Fotoresistencia o LDR** es un resistor que varía el valor en función de la cantidad de luz que incide sobre él, es decir, es sensible a la luz que recibe y ofrece una resistencia mayor o menor en función de la cantidad de luz que recibe (Figura 2.8a).

**Led ultrabrillante** es un emisor de luz y su funcionamiento está basado en el efecto de la electro-luminiscencia. Tiene alta luminosidad y su consumo de energía es baja (Figura 2.8b).

**Sensor detector de lluvia o gota de lluvia** es un modulo que detecta la presencia de lluvia. La medición que realiza este sensor puede ser analógico o digital, es muy similar al sensor de humedad de tierra (Figura 2.8c).



Figura 2.8: a) Fotoresistencia, b) Led ultrabrillante y c) Sensor detector de lluvia.

**Caja de acrílico** es de material rígido y transparente, su resistencia a la intemperie hace que sea el material idóneo para una variedad de aplicaciones al aire libre (Figura 2.9a).

**Mini protoboard** es de 170 puntos, es ideal para prototipos electrónicos de tamaño pequeño, ayuda mucho para pruebas y desarrollo de proyectos para microcontroladores o Arduino. (Figura 2.9b).

**Placa fenólica** es una placa grabada en cobre y perforada (164 orificios) con una dimensión de 4.5 x 4.5 cm. Es un excelente auxiliar para prototipos y proyectos de electrónica, puede sustituir a un protoboard ya que en ella se pueden introducir en las perforaciones distintos y varios componentes (Figura 2.9c).

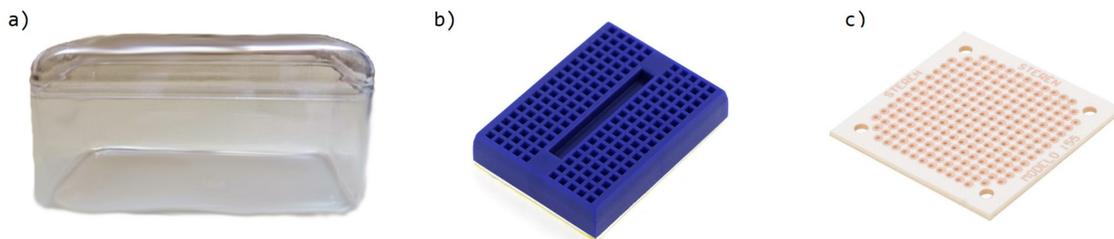


Figura 2.9: a) Caja de acrílico, b) Mini protoboard y c) Placa fenólica.

**Power bank** es una batería externa o cargador externo para dispositivos electrónicos, actualmente hay una gran variedad de modelos, marcas y capacidad de almacenamiento (miliamperios-hora (mAh)) (Figura 2.10a).

**Resistencias** es la dificultad de paso de corriente eléctrica. Cada resistencia tiene un valor y se determina por el código de colores, puesto que cada resistencia tiene unas bandas de colores (Figura 2.10b).

**Cable estañado** es un cable o alambre estañado que se usa para conducir corriente y funciona para la conexión de circuitos eléctricos, hay de diferentes colores y calibre (Figura 2.10c).

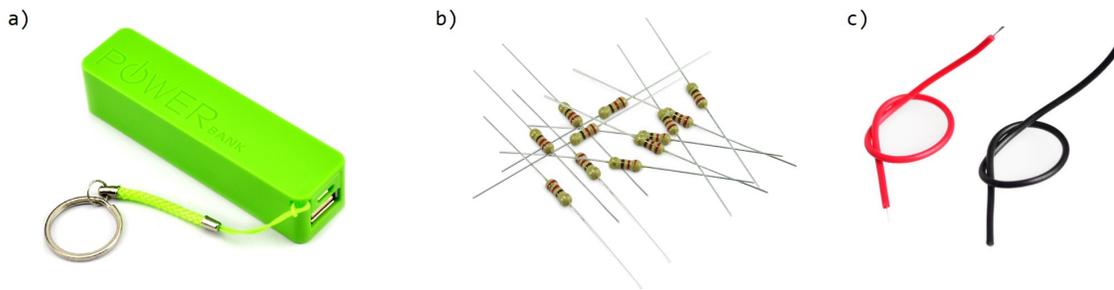


Figura 2.10: a) Power bank, b) Resistencias y c) Cable estañado.

**MicroSD** es una tarjeta de memoria usada para una multitud de dispositivos donde se pueden almacenar fotos, música, vídeos y cualquier tipo de archivo o datos. Son resistentes al agua, las temperaturas y golpes (Figura 2.11a).

**Modulo Nivel de agua** puede medir el nivel del agua e incluso puede sustituir al sensor detector de lluvia. Su voltaje de funcionamiento es de 5V (Figura 2.11b).

**Botella plástica** es un envase de 335ml que fue recortada por la mitad para contener el agua de la lluvia y así medir el nivel de agua. (Figura 2.11c).

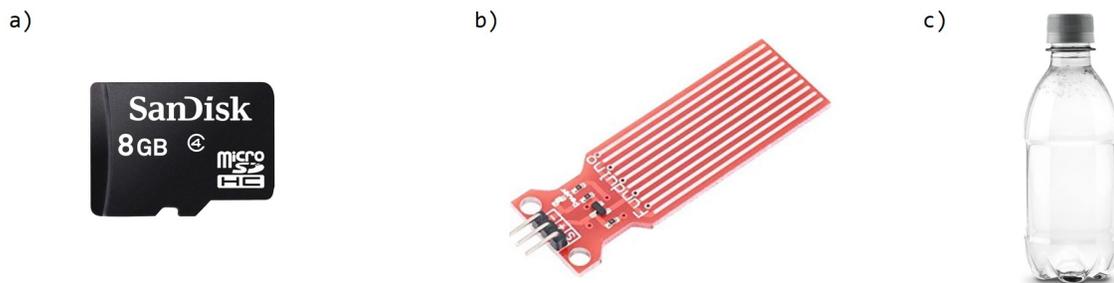


Figura 2.11: a) MicroSD, b) Modulo nivel de agua y c) Botella plástica.

## 2.4.2. Software

**Fritzing**<sup>6</sup> es una iniciativa de hardware abierto que hace a la electrónica accesible como material creativo para cualquier persona. Se trata de una herramienta de software libre, un sitio web para la comunidad y servicios basados en los principios de

<sup>6</sup>Sitio oficial <http://fritzing.org/home/>

Processing y Arduino, fomentando un ecosistema creativo que permite a los usuarios documentar sus prototipos, compartirlos con otros, aprender electrónica, diseñar y fabricar PCB's profesionales. Fritzing es uno de los programas para diseño electrónico más amigables y fáciles de usar, es compatible con Mac, Windows y Linux. Ofrece la posibilidad de armar circuitos en tres vistas diferentes: Protoboard, Esquemático y PCB.

**Arduino Software (IDE)**<sup>7</sup> o *Entorno de Desarrollo Integrado de Arduino* contiene un editor de texto para escribir código, un área de mensajes, una consola de texto, una barra de herramientas con botones para funciones comunes y una serie de menús. Se conecta al hardware Arduino y Genuino para cargar programas y comunicarse con ellos.

**MIT App Inventor**<sup>8</sup> es un entorno de programación visual e intuitiva que permite a todos, incluso los niños, a construir aplicaciones totalmente funcionales para teléfonos inteligentes y tabletas. Su programación se basa en bloques que son una herramienta interactiva para elaborar aplicaciones complejas en poco tiempo y de gran impacto. Es una herramienta basada en bloques que facilita la creación de aplicaciones complejas de alto impacto en mucho menos tiempo que los entornos de programación tradicionales [34]. El proyecto MIT App Inventor busca democratizar el desarrollo de software al capacitar a todas las personas, especialmente los jóvenes, para pasar del consumo de tecnología a la creación de tecnología.

**WEKA**<sup>9</sup> es una colección de algoritmos de aprendizaje automático para tareas de minería de datos. Los algoritmos se pueden aplicar directamente a un conjunto de datos o llamar desde su propio código Java. Contiene herramientas para el pre-procesamiento de datos, clasificación, regresión, clustering, reglas de asociación y visualización. También es adecuado para desarrollar nuevos esquemas de aprendizaje automático. Es un software de código abierto emitido bajo la Licencia Pública General de GNU [14].

**Excel**<sup>10</sup> es una aplicación del tipo hoja de cálculo que forma parte del paquete Microsoft Office se utiliza para calcular, analizar y gestionar datos [5]. A través de ella, se puede realizar gráficos y diversas operaciones, desde las más sencillas, como sumar y restar, hasta otras complejas, por medio de funciones y fórmulas.

---

<sup>7</sup>Sitio oficial <https://www.arduino.cc/>

<sup>8</sup>Sitio oficial <http://ai2.appinventor.mit.edu>

<sup>9</sup>Sitio oficial <https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>

<sup>10</sup>Para trabajar en línea <https://office.live.com/start/Excel.aspx?omkt=es-ES>

## 2.5. Clasificadores

### 2.5.1. Aprendizaje Profundo

El Aprendizaje Profundo es una forma de aprendizaje automático que permite a las computadoras aprender de la experiencia y comprender el mundo en términos de una jerarquía de conceptos. Debido a que la computadora reúne los conocimientos de la experiencia, no es necesario que un operador de computadora humana especifique formalmente todo el conocimiento que necesita la computadora. La jerarquía de conceptos permite que la computadora aprenda conceptos complicados al construirlos a partir de conceptos más simples; un gráfico de estas jerarquías tendría muchas capas de profundidad [22]. El Aprendizaje Profundo permite modelos computacionales que están compuestos de múltiples capas de procesamiento para aprender representaciones de datos con múltiples niveles de abstracción. Estos métodos han mejorado drásticamente el estado de la técnica en reconocimiento de voz, reconocimiento de objetos visuales, detección de objetos y muchos otros dominios, como descubrimiento de fármacos y genómica. [28].

#### Multilayer Perceptron

WEKA mediante la librería `Dl4jMlpClassifier` proporciona un clasificador de reiniciador para las redes de prealimentación, incluidas las redes convolucionales, en este caso usa el Multilayer Perceptron que es una red neuronal artificial formada por múltiples capas, permitiéndole resolver problemas que no son linealmente separables, el cual se menciona por primera vez en el artículo llamado: "Learning internal representations by error propagation" [35], presentan una generalización del procedimiento de aprendizaje del perceptrón para aprender los conjuntos correctos de conexiones para redes arbitradas. Un año más tarde en el artículo "Learning representations by back-propagating errors" [36] son ellos mismos que ajustan el Multilayer Perceptron pero ahora retro propagación, es decir las salidas de error se propagan hacia atrás partiendo de la capa de salida.

Tabla 2.2: Uso del iterador con multilayer perceptron.

Uso del iterador	Descripción
<code>DefaultInstanceIterator</code>	Archivos ARFF simples sin interpretación espacial.
<code>Archivos ConvolutionalInstanceIterator</code>	ARFF con interpretación espacial.
<code>ImageInstanceIterator</code>	Archivos ARFF que contienen enlaces de metadatos a imágenes reales.

El algoritmo 1 Multilayer Perceptron es muy rápido, porque las unidades muy rápidamente ocultas se enfocarán en pocos ejemplos y solo se realizarán algunas actualizaciones. Además, es muy simple de implementar, y como no requiere ningún

almacenamiento interno (como derivados, por ejemplo), ni ningún cálculo de tangente hiperbólica, es realmente computacionalmente eficiente [4].

---

**Algoritmo 1** Algoritmo Multilayer Perceptron .

---

Inicializar  $w$  y  $b$  en cero.

**repetir**

**para**  $l \in \{1 \dots l\}$  **hacer**

**si**  $y_l(w \cdot x_l + b) \leq \beta$  **entonces**

**para**  $i \in \{1 \dots N\}$  **hacer**

**si**  $\|v_i \cdot x_l + d_i\| \leq 1$  **entonces**

$v_i \leftarrow v_i + \lambda y_l x_l$

$d_i \leftarrow d_i + \lambda y_l$

**fin si**

**fin para**

$b \leftarrow b + \lambda y_l$

**fin si**

**fin para**

**hasta que** criterio de terminación

---

## 2.5.2. MultiClassClassifier

Un metaclassificador para manejar conjuntos de datos de clase múltiple con clasificadores de 2 clases. Este clasificador también es capaz de aplicar códigos de salida de corrección de errores para una mayor precisión. La Tabla 2.3 a continuación describe las opciones disponibles para MultiClassClassifier y la Tabla 2.4 muestra las capacidades de MultiClassClassifier.

Tabla 2.3: Opciones disponibles para MultiClassClassifier.

Opción	Descripción
Clasificador	El clasificador base que se utilizará.
Depurar	Si se establece en verdadero, el clasificador puede generar información adicional en la consola.
Método	Establece el método a usar para transformar el problema de clase múltiple en varios de 2 clases.
RandomWidthFactor	Establece el multiplicador de ancho cuando se usan códigos aleatorios. La cantidad de códigos generados será multiplicada por el número de clases.
Semilla	La semilla de número aleatorio que se utilizará.
usePairwiseCoupling	Use pairwise coupling (solo tiene efecto para 1-contra-1).
NumDecimalPlaces	Número de decimales que se utilizarán para la salida de números en el modelo.
BatchSize	Se está realizando el número de instancias preferido para procesar en la predicción por lotes. Se pueden proporcionar más o menos instancias, pero esto da a las implementaciones la oportunidad de especificar un tamaño de lote preferido.
LogLossDecoding	Use la decodificación de pérdida de registro para códigos aleatorios o exhaustivos.

Tabla 2.4: Capacidades de MultiClassClassifier.

Capacidad	Soportado
Clase	Clase binaria, valores de clase perdidos, clase nominal.
Atributos	Atributos unarios, atributos nominales, atributos de fecha, atributos numéricos, valores faltantes, atributos nominales vacíos, atributos binarios.
Número mínimo de instancias	1

Un procedimiento aboosting es implementado por LogitBoost, que se adapta a los problemas que afectan a situaciones de dos clases, por ejemplo, la clase SMO. Con el fin de aplicar estos esquemas a multiclase conjuntos de datos es necesario para transformar el problema en varios multiclase dos clases, y combinar los resultados. MultiClassClasifier hace exactamente eso [45]. Clasificación multiclase significa una tarea de clasificación con más de dos clases; por ejemplo, clasificar un conjunto de imágenes de frutas que pueden ser naranjas, manzanas o peras. La clasificación multiclase presupone que cada muestra se asigna a una y solo una etiqueta: una fruta puede ser una manzana o una pera pero no ambas al mismo tiempo [27]. En el algoritmo 2 se presenta el pseudocódigo de un clasificador multiclase.

---

**Algoritmo 2** Algoritmo Multiclase [2].

---

$Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$  con  $z_i = (x_i, y_i)$  como conjunto de entrenamiento.  
 $M$ , el número máximo de clasificaciones.  
 Iniciar  $F^0(x_i) = 0$  y  $p(x_i) = 1/2$ ,  $i = 1, \dots, n$   
**para**  $m = 1, \dots, M$ ; **hacer**  
      $w_i = p(x_i)(1 - p(x_i))$ ,  $z_i = (y_i)/p(x_i) (1 - p(x_i))$ .  
     Ajustar la función  $F^m(x)$ ;  $z_i$  to  $x_i$   
     Actualizar  $F^{(m)}(x_i) = F^{(m-1)}$  y  
      $p(x_i) = \exp(F^{(m)}(x_i)) / (1 + \exp(F^{(m)}(x_i)))$   
**fin para**

---

## Capítulo 3

### Estado del Arte

Flamengo *et al*, menciona que las predicciones climáticas de mediano y largo plazo adquieren cada vez más importancia, debido al impacto que eventos extremos tienen en la actividad socioeconómica de una región. En Argentina las predicciones del clima tienen un significado trascendente, dado que la ocurrencia de períodos de inundaciones y sequías afectan considerablemente la actividad agropecuaria.; La variación de la temperatura y presión superficial del mar en los océanos Pacífico, Atlántico e Indico, y otros indicadores climáticos globales, como son la Oscilación del Sur, del Atlántico y Pacífico Norte, influyen en los patrones de precipitación en el área analizada.; Se ha realizado esta investigación sobre la base de técnicas estadísticas que han permitido vincular aquellos índices con la variabilidad estacional de las precipitaciones y se muestran los resultados obtenidos de la predicción de mediano plazo; destacó que la habilidad predictiva de los modelos mejoran ante la ocurrencia de episodios; no significando esto que dicha señal sea el predictor más relevante. Es decir, este fenómeno natural podría estar provocando alteraciones de los componentes del océano y la atmósfera en lugares distantes del Pacífico Ecuatorial, siendo éstos últimos los que, finalmente, contribuirían a mejorar las predicciones estacionales de lluvias [17].

Eliezer, El Grupo de Observación de la Tierra y la Atmósfera (GOTA) de la Universidad de La Laguna, haciendo uso de técnicas para el estudio de variables atmosféricas, como los modelos numéricos de área limitada, realiza diariamente predicciones meteorológicas desde el año 2012. Dichas predicciones son realizadas cada 48 horas para la región de Canarias usando el modelo regional WRF. GOTA dispone de un portal web para información meteorológica, donde proporciona información a los componentes de GOTA y otros investigadores. El objetivo del proyecto consistió en la elaboración de una aplicación, que seleccione los datos relevantes del portal y los muestre a usuarios de forma sencilla y amigable. Permite visualizar los mapas de predicción para las múltiples variables meteorológicas, además de muestra una evolución temporal de las principales variables para una localización concreta. Se realizaron pruebas con un dispositivo Android y también en la web, se cumplió el objetivo de crear la interfaz mostrando la información, mapas y la aplicación es multiplataforma [6].

Farfán y Triana, la variación del clima es uno de los factores que afectan directa o indirectamente la actividad humana, de los pequeños y grandes productores agrícolas, ganaderos, específicamente en la región de Chiquinquirá - Boyacá, donde se evidencia como factor principal de su desarrollo el cambio climático, cuyo estudio y conocimiento podría anticipar estrategias, adecuando el sector agrícola para maximizar su productividad, basado en el impacto del medio ambiente. De esta forma, se propone la construcción de un sistema, compuesto por una red de monitoreo climático distribuida en puntos estratégicos de Chiquinquirá, con el propósito de obtener información específica y acertada de cambios climáticos en la región en un largo periodo de tiempo. Integra además un software capaz de tabular y analizar todos

los datos capturados referentes a humedad, presión barométrica, temperatura, calor entre otras, facilitando la generación automática de reportes predictivos de posibles cambios climáticos, lo que será un medio para incrementar la producción de diversos sectores, con la implantación de estrategias para contrarrestar los nuevos escenarios climáticos a los que son sometidos [16].

Thapa *et al*, el tiempo generalmente se refiere a la actividad diaria de temperatura y precipitación, mientras que el clima es el término para las condiciones atmosféricas promedio durante períodos más largos de tiempo. Es difícil controlar las condiciones meteorológicas manualmente. El trabajo es desarrollar un sistema automatizado que monitorea las condiciones climáticas. La condición meteorológica es impulsada por las diferencias de presión de aire (temperatura y humedad) entre un lugar y otro. Estas diferencias de presión y temperatura pueden ocurrir debido al ángulo solar en cualquier punto particular. A través del sistema desarrollado se puede recolectar automáticamente la información sobre la humedad y la temperatura. Los detalles se almacenan en una base de datos y de acuerdo con los datos actuales y anteriores se pueden producir los resultados de forma gráfica en el sistema. El objetivo del trabajo es formular el clima y ser capaz de pronosticar el tiempo sin error humano [26].

Kedia, una estación meteorológica es una instalación equipada con instrumentos de alta tecnología para predecir el fenómeno meteorológico futuro. Esto también se utiliza para estudiar el clima de esa área. Las mediciones tomadas de la estación incluyen - temperatura, presión, humedad, velocidad del viento, precipitación. La exactitud predicha por estas estaciones meteorológicas no es demasiado alta para predecir la condición meteorológica real de un área en particular. La diferencia de error puede ser de alrededor del 10 %, lo que hace una gran diferencia. Además, en cada ciudad hay 2-3 estaciones meteorológicas sólo para predecir el tiempo de un área tan amplia. Las estaciones meteorológicas dan la predicción para toda la ciudad y no sólo un área en particular. Cada área puede tener clima diferente ya que el tiempo depende de la ubicación. Formuló el mecanismo para mejorar la precisión con una Mini-estación que se instalan en la parte superior de edificios, esta unidad captura por medio de sensores los registros de diferentes aspectos climáticos, haciendo así una predicción del clima y en tiempo real [25].

Uribe y Zavaleta, por los cambios extremos del clima y otros fenómenos meteorológicos, trabajaron con variables de temperatura y precipitación para detectar los extremos climáticos en el estado de Guerrero, México. La forma en la que obtienen sus resultados es por los cálculos que realizan con fórmulas para 27 índices que son propuestos por el Grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI), el proyecto de variabilidad climática (CLIVAR) y la Comisión Conjunta de Oceanografía y Meteorología Marítima (JCOMM), para el periodo 1971-2000. Dichos índices son convenientes para la detección de extremos del clima pues la medida varía en días, temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y milímetros (mm). El significado de cada una

depende si es de día o noche, seco, frío, caliente, temperatura baja, alta, máxima o mínima. Las fórmulas de los 27 índices se aplican en 47 estaciones climatológicas del estado de Guerrero, es decir, los 27 índices se calcularon en cada estación [43].

Marroquín, explica en su artículo los diversos mecanismos de aviso o premoniciones de los cambios del clima. Algunas personas pueden tener premoniciones del cambio del tiempo por consecuencia de enfermedades o lesiones, antiguas fracturas, malestar de articulaciones, dolor de estómago, entre otros. Sin embargo, algunas especies animales y vegetales perciben los cambios meteorológicos y tienen un comportamiento a corto plazo. Menciona que animales acuáticos, terrestres y aéreos buscan resguardarse en un lugar seguro tras una tormenta, lluvia, y varios cambios meteorológicos. Algunos insectos son también excelentes predictores como son las hormigas y las abejas. Los árboles y las plantas presentan características que son significativas como indicadores del cambio climático, la recopilación de información permitirían la creación de un *Inventario de Biopredictores* como paso previo a una investigación multidisciplinar de los correspondientes binomios causa-efecto [29].

Hernández, desarrolló un portal web para la información meteorológica que consiste en utilizar técnicas a baja resolución para obtener simulaciones más precisas para alguna zona en particular, ésta puede ser una ciudad, pueblo o región de interés. Para eso ocupa la técnica *downscaling dinámico*, que realiza procesos a escala local. El trabajo de la autora es para el grupo GOTA (Grupo Observatorio de la Tierra y de la Atmósfera) de la Universidad de La Laguna, grupo que realiza diariamente predicciones meteorológicas a 48 horas para la región de Canarias, usando el modelo regional WRF. El proyecto de Hernández es precedente al del autor Eliezer antes mencionado en el trabajo *Desarrollo de una aplicación para visualización de predicciones meteorológicas en dispositivos móviles* [6]. El objetivo del proyecto es elaborar una plataforma web para mostrar los resultados de las simulaciones para que un usuario pueda apreciar visualmente los mapas de predicción de las variables meteorológicas. También es una herramienta de diagnóstico que permite observar las comparaciones de las predicciones elaboradas por el grupo GOTA y las estaciones meteorológicas. La elaboración de esta plataforma requería de conocimiento de los modelos numéricos de predicción meteorológica y el entendimiento de la función de las herramientas científicas [23].

En 2009, se llevó a cabo el XLIV Congreso Nacional de Entomología, donde Heriberto Vélez, estudiante de Física de la Universidad Autónoma de Nuevo León, presentó el trabajo científico *Caracterización y análisis mecánico-ondulatorio en el órgano estridulador de Atta Mexicana*. El trabajo representa la investigación de las variables físicas del comportamiento de las hormigas, las cuales fueron analizadas, recopilaron información para utilizarla en una aplicación de biosensores empleando la mecánica del insecto y pasarlo a un circuito eléctrico. Esto permitió el estudio de las hormigas como sensores naturales ante las variaciones del entorno, es decir, su

estudio es para detectar las variaciones del clima para predecir fenómenos de tipo atmosférico. La investigación dio inicio por la habilidad de los insectos eusociales (abejas, avispas, hormigas) de detectar las variaciones físico-químicas y actuar ante los cambios climático y ecológico, por esa razón, obtuvo resultados respecto al comportamiento a estímulos externos que determina una hormiga bajo que factores de sonido, intensidad, etc. Las sensaciones de los insectos permiten la predicción de cambios de clima de los próximos días o semanas, en este trabajo se describe que los insectos son la base de llegar a un sensor que específicamente tenga la sensibilidad de un insecto, posiblemente con eso se pueda predecir los tsunamis, terremotos o cualquier fenómeno meteorológico. Entonces, el estudio que llevo a cabo fue para formular los datos del comportamiento a estímulos, posteriormente realizó su dispositivo capaz de tener sensibilidad ante los cambios de temperatura, humedad, presión, incluso a los iones de la atmósfera y cambios de moléculas del ambiente, algo no percibido por los humanos.

# Capítulo 4

## Materiales y Métodos

El proceso se muestra en la Figura 4.1, en la que se proponen seis etapas para poder desarrollar adecuadamente el dispositivo y obtener buenos resultados.



Figura 4.1: Proceso propuesto.

En las etapas de desarrollo se debe hacer refinaciones ya sea en hardware o software a la Mini-estación, pues cada configuración, implementación o depuración se toma en cuenta durante el desarrollo del proyecto con el fin de elaborar un dispositivo de buena calidad que pueda exponerse a la intemperie y que funcione varias horas. A continuación se describen las etapas mostradas en el proceso.

1. **Análisis del problema:** Se define el objetivo principal, se plantea el problema y proponer soluciones, es decir, se planea como crear y desarrollar el dispositivo que permita la predicción de posibles días lluviosos, soleados y nubosos. También se toma en consideración las posibles herramientas y materiales que se pueden ocupar para la creación del producto.
2. **Mini-estación:** Comienza la etapa donde se diseña y construye el prototipo, de esta manera se pueden determinar las variables que son necesarias para utilizarlas en el prototipo y éste puede realizar los registros y las predicciones más certeras, así se podrán añadir los sensores y módulos adecuados para que éstos puedan ser programados para la captura de datos, la información obtenida será almacenada en un formato CSV.
3. **Captura y recopilación de datos:** En esta etapa se realizan los experimentos de campo, es decir, se hace el monitoreo, la observación y registros diarios de clima, esto con el fin de almacenar datos importantes de los días lluviosos, nubosos, soleados y otros posibles cambios de clima. Por lo tanto, la Mini-estación con sus componentes sensoriales y módulos funcionando, captura y registra información en un tiempo establecido. Mientras se haga el monitoreo se consultarán los pronósticos del clima de Misantla en el Sistema Meteorológico Nacional y los sitios web de Yahoo! y Meteored. Además de revisar la literatura en relación a meteorología y predicción.

4. **Análisis y comparación de datos:** Una vez que se tengan los datos capturados por la Mini-estación se realiza una comparación con los pronósticos y predicciones del clima obtenidos del *Sistema Meteorológico Nacional Yahoo!* y *Meteored: Tiempo 14 días* para conocer que tan aproximados y certeros son las capturas de la Mini-estación con los registros de los predictores o pronosticadores populares.
5. **Aprendizaje Profundo:** Es la etapa más importante, pues es aquí donde se realiza la combinación de los Clasificadores Ensamblados y el clasificador Multilayer Perceptron. Se aplican los Criterios de Muestreo  $\frac{1}{3}$  &  $\frac{2}{3}$ , validación cruzada y muestra representativa.
6. **Análisis de los resultados:** Es la etapa final pues se comprobará si los resultados son positivos y se cumple el objetivo principal. En dado caso que se presenten fallos, se hace una refinación o se retrocederá a la etapa 5 para nuevas pruebas.

## 4.1. Materiales

Para el diseño, desarrollo y experimentos del prototipo se ocupan los siguientes materiales:

- *Características del equipo:* El diseño, programación y experimentos se realizaron en una computadora con Procesador Intel(R) Core(TM) i3-2370M CPU 2.4 GHz, Microsoft Windows 7 Home Basic 64-bits, RAM 6 GB DDR3 1333 MHz y HDD 320 GB.
- *Software:* Se utilizan para el desarrollo de software los siguientes editores de programación y diseño: Arduino Software IDE v.1.8.3 para la programación de la tarjeta Mega2560, Fritzing para diseñar y emular el circuito eléctrico del prototipo, Excel para abrir el archivo generado por la Mini-estación.
- *Sensores:* Para la captura de datos se ocupan sensores de humedad y temperatura, humedad de tierra, gotas de lluvia o detector de lluvia, presión barométrica, de luz y nivel de agua.
- *Otros materiales:* Tarjeta Arduino Mega2560, para la alimentación de energía se ocupa un power bank de 2600 mAh y para emergencia o reemplazo otro power bank de 1800 mAh, un cable USB Micro tipo B para conectar la tarjeta arduino con el power bank, miniprotoboard de 170 puntos, cables dupont (macho-macho y macho-hembra), resistencias, caja de acrílico para proteger todo el circuito, placa fenólica perforada, tarjeta microSD de 8 GB y un modulo adaptador de microSD.

- *Evidencias:* Para evidencias fotográficas se usa un smartphone Lanix Ilium LT500, ARM Cortex-A7 / 1100 MHz, Android 5.1 Lollipop 32-bits RAM 1 GB y almacenamiento interno de 8 GB. Los pronósticos del clima se basan al Sistema Meteorológico Nacional y a los sitios web Meteored.mx y Yahoo!

## 4.2. Métodos

### 4.2.1. Mini-estación

En esta etapa se diseña y se desarrolla la Mini-estación con el cual se harán pruebas para realizar mejoras y para que el dispositivo cumpla con las características necesarias, sea funcional y de bajo costo. Para el diseño, desarrollo y experimentos de la Mini-estación se ocupan una variedad de materiales descritas en la sección anterior 4.1.

#### Topología de red

Para hacer la Mini-estación, se diseñó su topología de red, se muestra en la Figura 4.2, en el que se conectan los componentes antes mencionados, de manera virtual con el software Fritzing para evitar corto circuito en los componentes reales, la topología de red tiene también un diseño esquemático (Figura 4.3) y placa de circuito impreso o PCB (Figura 4.4), luego en el software de Arduino se programan las funciones deseadas (capturas de datos, tiempos, almacenamiento, tipos de datos, etc.) y en dicha plataforma se carga la programación a la tarjeta (en la subsección 4.2.1 se explica este procedimiento).

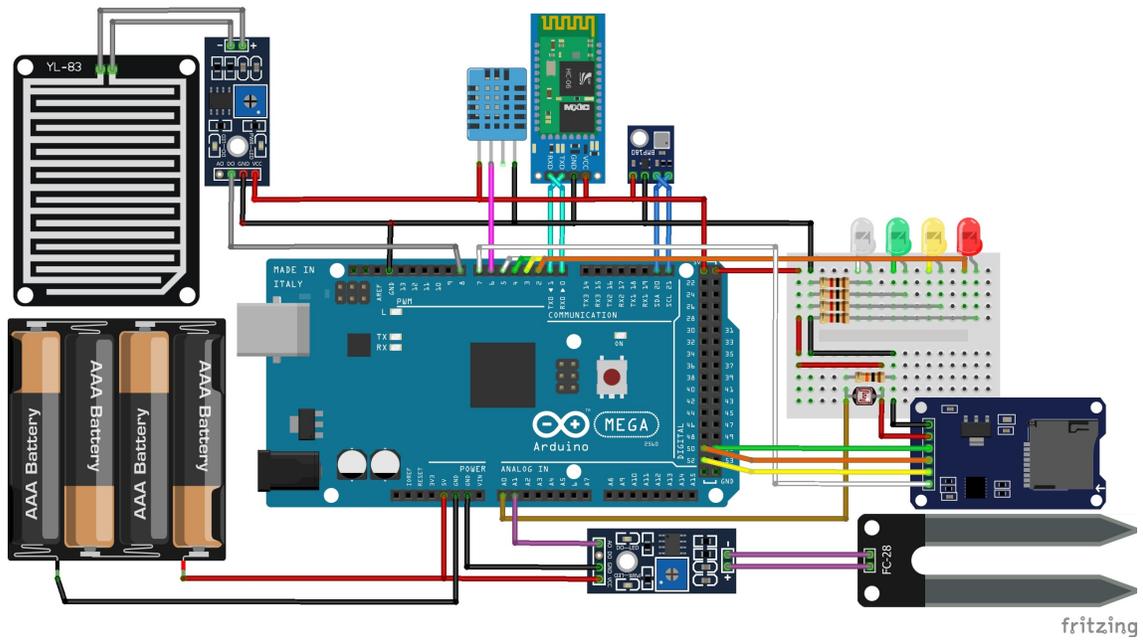


Figura 4.2: Topología de red de la Mini-estación.

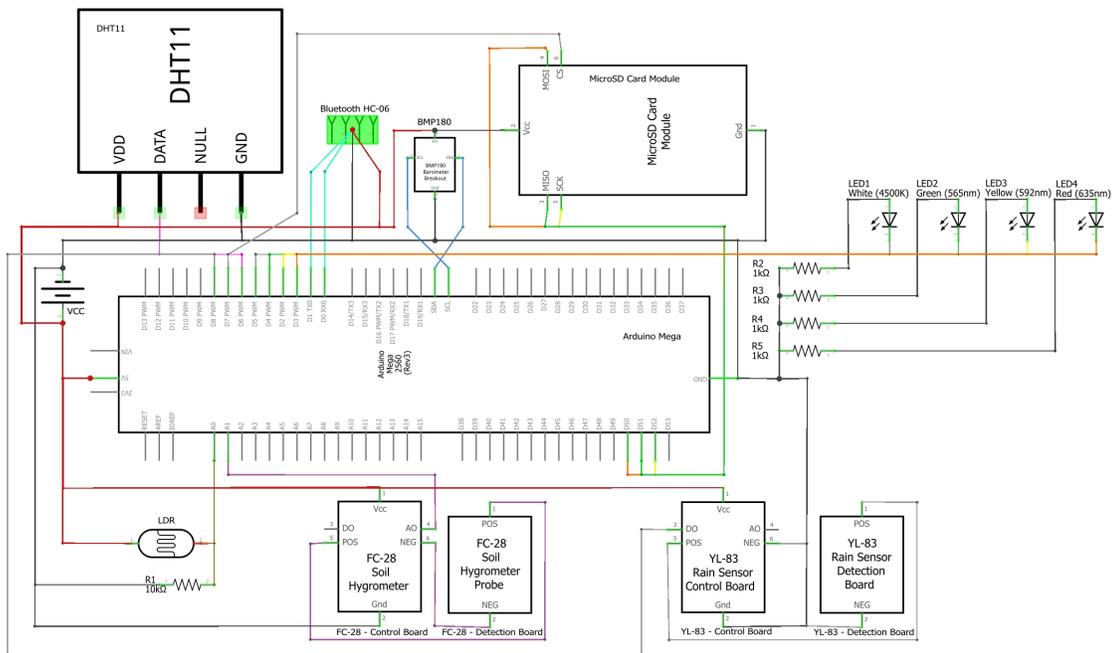


Figura 4.3: Topología de red esquemático de la Mini-estación.

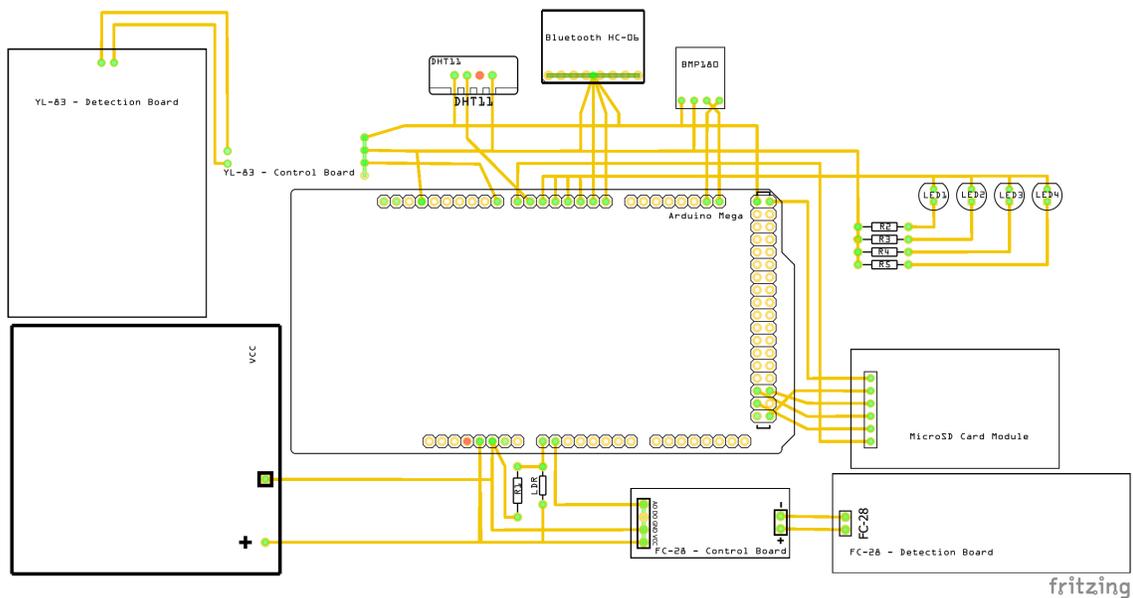


Figura 4.4: Topología de red PCB de la Mini-estación.

### Ensamble del dispositivo

En esta etapa se ensamblan en la placa fenólica, miniprotoboard y tarjeta Arduino, los sensores y módulos: bluetooth, temperatura, humedad (del aire y suelo), luminosidad, presión atmosférica (presión, nivel del mar y altitud), leds, power bank, resistencias y detector de lluvia siguiendo el diseño de la topología de red (Figura 4.2). Teniendo la parte eléctrica funcionando correctamente se debe proteger con una carcasa o un material resistente a la intemperie al que no se le infiltre agua y humedad. Este primer y único dispositivo permite detectar deficiencias del hardware como de la programación durante las pruebas de funcionamiento, también se realiza una calibración a los sensores (sección 4.2.1) para que funcionen correctamente, pues se toma mucho tiempo para categorizar los valores y determinar sus rangos de medida. En la Figura 4.5 se puede apreciar el dispositivo ensamblado con el que se realizaron pruebas para detectar posibles fallas o errores durante su funcionamiento, esto con el fin de refinar las configuraciones y realizar mejoras al producto final. La Mini-estación, se colocó en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla (ITSM) para obtener datos diarios y supervisar el funcionamiento del dispositivo para darle mantenimiento técnico.



Figura 4.5: Mini-estación ensamblada.

Cabe mencionar que dichas capturas se realizaron en una zona de las áreas verdes dentro de la institución, en la que se hizo un análisis de las áreas que fueran más adecuadas para instalar la Mini-estación, se seleccionó un área donde casi no transitan los estudiantes y personal del ITSM, se acordonó el área (ver Figura 4.6) y se instaló el dispositivo en el centro de dicha área para capturar datos del entorno (Figura 4.7).



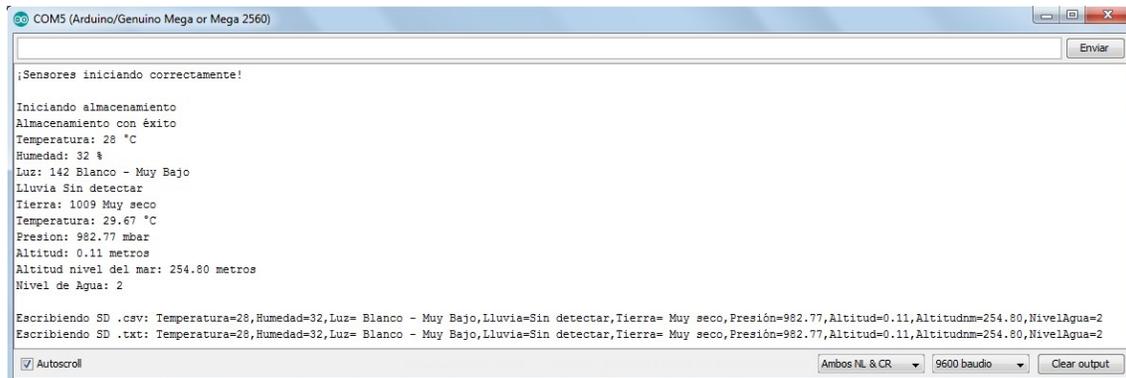
Figura 4.6: Área de capturas de variables atmosféricas.



Figura 4.7: Mini-estación en el área de capturas.

## Programación del dispositivo

Los sensores fueron ensamblados como la topología de red indica, además se programaron con el software de Arduino para realizar la captura correcta de las variables del clima, en el Anexo A.1 se muestra el código de programación que se usó para la Mini-estación. En la Figura 4.8, se muestran a través del monitor de Arduino los datos capturados por la Mini-estación, cabe mencionar que, cada sensor fue ajustado para una captura precisa y los datos son almacenados a una tarjeta microSD en dos formatos *CSV* y *TXT*, donde, el *CSV* es el formato principal ya que se procesa para la clasificación empleando Aprendizaje Profundo; el formato *TXT* es un archivo secundario para tener un respaldo de los datos capturados en caso de que el archivo principal se dañe. A continuación se explica el proceso de calibración de los sensores.



```
COM5 (Arduino/Genuino Mega or Mega 2560)
;Sensores iniciando correctamente!
Iniciando almacenamiento
Almacenamiento con éxito
Temperatura: 28 °C
Humedad: 32 %
Luz: 142 Blanco - Muy Bajo
Lluvia Sin detectar
Tierra: 1009 Muy seco
Temperatura: 29.67 °C
Presion: 982.77 mbar
Altitud: 0.11 metros
Altitud nivel del mar: 254.80 metros
Nivel de Agua: 2
Escribiendo SD .csv: Temperatura=28,Humedad=32,Luz= Blanco - Muy Bajo,Lluvia=Sin detectar,Tierra= Muy seco,Presión=982.77,Altitud=0.11,Altitudnm=254.80,NivelAgua=2
Escribiendo SD .txt: Temperatura=28,Humedad=32,Luz= Blanco - Muy Bajo,Lluvia=Sin detectar,Tierra= Muy seco,Presión=982.77,Altitud=0.11,Altitudnm=254.80,NivelAgua=2
Autoscroll
Ambos NL & CR 9600 baudio Clear output
```

Figura 4.8: Capturas de los sensores en el monitor de Arduino.

## Calibración de sensores

Cada sensor lleva su propia programación, su alimentación es de 3.3V y 5V, esto significa que la entrada de valores en 3.3V es de 0 y 1, en el caso de 5V el valor de entrada es expresado con un valor entre 0 y 1023, entonces, los valores de entrada son la razón por la cual se calibran los sensores y módulos para una captura exacta de las variables. Para la calibración de sensores fue cuestión de tiempo, ya que se tuvieron que realizar pruebas con la Mini-estación durante una semana, de manera que se detectaran con los valores de entrada las categorías de medición, esto es dependiendo del tipo de sensor. Las especificaciones y la información completa se muestran de la siguiente forma:

- **DHT11.** Es el sensor que permite la captura de la temperatura y humedad del aire, sus características se pueden ver en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Características técnicas del DHT11.

Variable	Unidad	Rango
Temperatura	°C	0°C - 50°C
Humedad	%	0% - 100%

- **LDR.** Es la fotoresistencia que permite sensar la luminosidad entre los valores 0 y 1023, esto permitió categorizar los rangos de medida para detectar el estado luminoso del día. Cada categoría se identifica por medio de un led que se enciende en la Mini-estación; los led son de diferente color y están asignados a una categoría. La información se expresa en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2: Categorías y rangos de luminosidad.

Categoría	Rango	Estado	Led
Cero	0 - 100	Noche	
Muy bajo	101 - 560	Anocheecer/Puesta de sol	Blanco
Bajo	561 - 850	Neblina	Verde
Alto	851 - 985	Nubosidad	Amarillo
Muy alto	986 - 1023	Soleado/Despejado	Rojo

- **Detector de lluvia.** Por medio de una gota de agua se detecta la lluvia, este sensor trabaja con dos valores 0 y 1 para la detección de lluvia, también tiene un modulo (hardware) que permite ajustar la sensibilidad del sensor para la detección del agua. Ver Tabla 4.3.

Tabla 4.3: Categorías para detección de lluvia.

Categoría	Valor	Estado
Detectada	0	LLueve
Sin detectar	1	No llueve

- **Sensor de humedad de tierra.** Este sensor hace medición entre los valores 0 y 1023, la tierra no mantiene continuamente la misma humedad pues varía dependiendo de otras variables, ejemplo, si se presentan días lluviosos la tierra se humedece mucho, si es soleado puede secarse y reducir la humedad hasta quedar totalmente seco. Las categorías que se establecieron en este sensor se muestran en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4: Categorías y rangos de humedad de tierra.

<b>Categoría</b>	<b>Rango</b>
Muy húmedo	0 - 450
Húmedo	451 - 700
Seco	701 - 1000
Muy seco	1001 - 1023

- **BMP180.** Este sensor de presión atmosférica puede capturar la presión en milibar (mbar), la altitud y el nivel del mar en metros (m), no se buscaron categorías o rangos de medición, sólo se obtienen los datos de forma directa mientras el sensor esta activo. Requiere de una librería para que se comunique el sensor y transmita los datos.

La información anterior es el apoyo para programar cada sensor, y que éstos capturen de manera precisa los datos para su clasificación. Con dichas categorías se busca el buen funcionamiento de la Mini-estación.

### Captura de datos

La Mini-estación cuenta con sensores que permiten la captura de la temperatura en grados Celsius, de humedad del aire en porcentaje, la humedad de la tierra, luminosidad solar, detecta lluvias, la presión atmosférica y la altitud a nivel del mar; los datos capturados por medio de estos sensores son almacenados cada 5 segundos en un archivo de formato CSV, que puede visualizarse con el programa Excel. El dataset en formato CSV se puede ver en la Figura 4.9, este archivo tiene 9 atributos y la cantidad de registros puede variar, ya que el dispositivo trabaja de forma inalámbrica y la alimentación de energía es por medio de un power bank, que tiene la capacidad de almacenar 2600 mA y permite alimentar durante 8 horas continuas al dispositivo, al quedarse sin batería se apaga y se detiene la captura de datos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Temp	Humedad	Luz	Lluvia	Tierra	Presion	Altitud	NivelMar	Clima
2	20	78	1009	1	721	985.26	-0.09	233.62	Soleado
3	20	78	1010	1	716	985.26	-0.11	233.61	Soleado
4	20	78	1001	1	746	984.43	7.02	220.7	Soleado
5	20	78	1012	1	715	984.43	7.04	220.72	Soleado
6	20	78	991	1	719	984.5	6.12	220.12	Soleado
7	20	78	1012	1	714	984.12	6.85	220.13	Soleado
8	20	78	1010	1	713	984.46	6.78	220.12	Soleado
9	20	78	1001	1	713	984.19	7.18	211.05	Soleado
10	20	78	1012	1	743	980.88	17.18	270.99	Soleado
11	20	78	1005	1	746	983.06	18.78	212.4	Soleado
12	20	78	1017	1	714	979.09	12.85	286.29	Soleado
13	20	78	1005	1	715	985.09	1.18	235.09	Soleado
14	20	78	1001	1	743	984.12	9.64	243.3	Soleado
15	20	78	991	1	720	984.18	7.11	211.09	Soleado
16	20	78	1001	1	714	984.13	7.11	220.79	Soleado
17	23	60	899	1	924	984.67	-25.5	238.62	Nuboso
18	23	62	899	1	925	984.69	-25.62	238.5	Nuboso
19	23	60	899	1	924	984.64	-25.22	238.9	Nuboso
20	23	59	897	1	925	984.67	-25.49	238.63	Nuboso
21	24	59	898	1	923	984.66	-25.43	238.69	Nuboso
22	24	62	896	1	925	984.61	-24.94	239.18	Nuboso
23	24	60	896	1	925	984.63	-25.19	238.94	Nuboso
24	23	60	895	1	924	984.62	-25.04	239.08	Nuboso
25	24	63	894	1	924	984.66	-25.39	238.73	Nuboso
26	24	60	893	1	924	984.68	-25.59	238.53	Nuboso
27	23	60	892	1	924	984.65	-25.33	238.79	Nuboso
28	23	62	892	1	925	984.64	-25.26	238.86	Nuboso
29	23	63	891	1	924	984.66	-25.39	238.73	Nuboso
30	23	62	890	1	925	984.64	-25.26	238.87	Nuboso
31	23	60	890	1	925	984.7	-25.76	238.37	Nuboso
32	13	63	385	0	415	994.94	3.27	151.51	Lluvioso
33	13	63	387	0	416	994.94	3.23	151.46	Lluvioso
34	13	63	386	0	415	994.92	3.46	151.69	Lluvioso
35	13	63	384	0	414	994.95	3.14	151.37	Lluvioso
36	13	63	385	0	414	994.95	3.21	151.44	Lluvioso
37	13	63	386	0	414	994.93	3.35	151.58	Lluvioso
38	13	63	386	0	414	994.93	3.38	151.61	Lluvioso
39	13	63	385	0	414	994.89	3.69	151.92	Lluvioso
40	13	63	386	0	413	994.88	3.73	151.96	Lluvioso
41	13	63	385	0	412	994.94	3.23	151.46	Lluvioso
42	13	63	385	0	413	994.91	3.48	151.71	Lluvioso
43	13	63	386	0	412	994.86	3.95	152.18	Lluvioso
44	13	63	385	0	411	994.91	3.55	151.78	Lluvioso
45	13	63	385	0	411	994.87	3.83	152.06	Lluvioso
46	13	63	386	0	411	994.85	4.03	152.27	Lluvioso

Figura 4.9: Captura de datos en formato CSV.

El horario que se estableció para las capturas diarias fue de 9am a 5pm y el dispositivo fue instalado en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. La Tabla 4.5 muestra los registros obtenidos de la Mini-estación desarrollada, siendo éstos las capturas previas de los primeros experimentos. Dicho lo anterior, se realizaron las primeras capturas con el fin de obtener información del estado del clima y poder clasificar la información almacenada en el dataset implementar el Aprendizaje Profundo, además estas primeras pruebas permitieron detectar fallos en el hardware y software.

Tabla 4.5: Registros diarios del dispositivo.

<b>Día</b>	<b>Fecha</b>	<b>Registros</b>	<b>Día</b>	<b>Fecha</b>	<b>Registros</b>
1	27/Nov/2017	5258	8	05/Dic/2017	4572
2	28/Nov/2017	5999	9	06/Dic/2017	4656
3	29/Nov/2017	1992	10	07/Dic/2017	2114
4	30/Nov/2017	2095	11	08/Dic/2017	2311
5	01/Dic/2017	5400	12	09/Dic/2017	3885
6	02/Dic/2017	4368	13	11/Dic/2017	3214
7	04/Dic/2017	4421	14	12/Dic/2017	3874

De acuerdo a la información de la Tabla 4.5, durante 14 días hubo un total de 27888 registros y cierta diferencia respecto a la cantidad de datos por día, el registro más alto fue de 5999 y el más bajo de 1992, como anteriormente se ha mencionado, las primeras pruebas permitieron detectar fallos técnicos que pudieron corregirse y así mejorar el dispositivo, por ese motivo algunos días en sus registros salieron bajos, una manera de representar los registros diarios mostrados en la Tabla 4.5 es por medio de una gráfica que se puede visualizar en la Figura 4.10, ahí se observan las barras más pequeñas que son los días en los que se capturaron pocos datos en el dispositivo, es decir, son los días en los que el dispositivo tenía algunos defectos y no permitían su funcionamiento, sin embargo, las barras más grandes dan referencia a aquellos que trabajo normal el dispositivo sin complicaciones.



Figura 4.10: Representación gráfica de los registros diarios.

### Comparación de datos

Los registros del dataset fueron comparados con la información de los sitios web del pronóstico del clima como lo son Sistema Meteorológico Nacional Yahoo! y Meteored. Estos sitios son los más buscados y usados por los usuarios en Internet para consultar el clima actual y el de los próximos días. Los pronósticos y predicciones del clima para futuros días publicados por estos medios no siempre suceden realmente y no son 100% certeros, puesto que, en las comunidades hay distintos tipos de clima y los cambios de clima son repentinos. De manera gráfica se representan los registros de la Mini-estación junto a los datos publicados por el SMN, Yahoo! y Meteored, esto permite observar y comparar la información de las variables temperatura, humedad, lluvia y clima que son los datos más comunes de ver en los pronósticos. En la gráfica se puede ver que hay dos variables (lluvia y clima) que no tienen mucha diferencia en sus valores, son similares y parecen tener una misma secuencia, esto es porque los datos no varían y coinciden repetidamente en los pronosticadores del clima incluyendo la Mini-estación que se ha desarrollado, sin embargo, en las variables de temperatura y humedad hay una gran diferencia de los datos de un pronosticador con otro, es por ello que se hacen demasiados picos. La Figura 4.11 muestra la información diaria de la Mini-estación y las publicaciones de los sitios de pronósticos del clima.

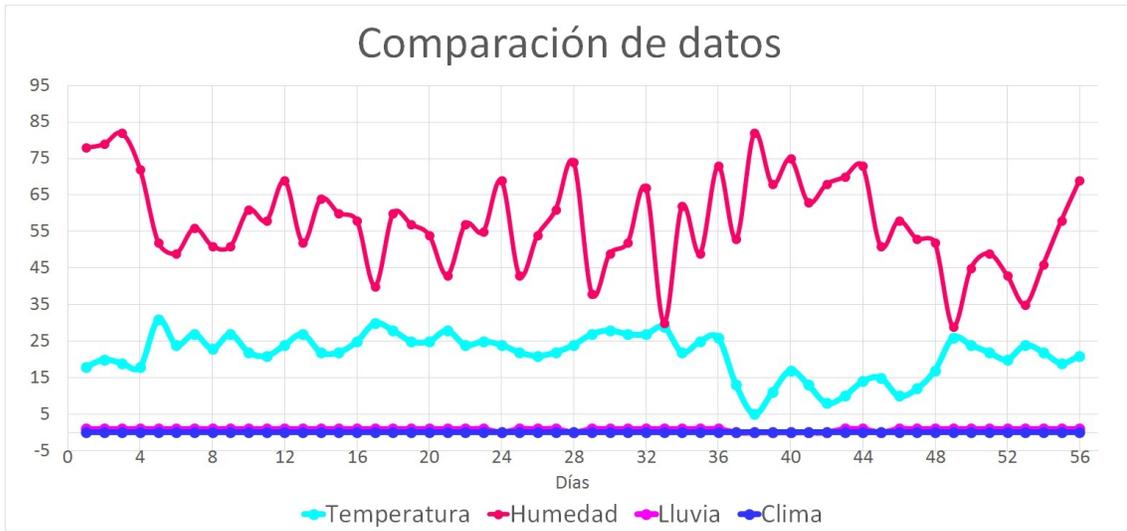


Figura 4.11: Comparación de datos del dispositivo con los pronosticadores del clima.

En la Figura 4.12 se ve la diferencias de los datos de la Mini-estación y los pronosticadores del clima, algunas ocasiones los pronosticadores se aproximan a los valores de la Mini-estación, sin embargo, con la gráfica se observa que no fueron ciertos los pronósticos del clima. En la Figura 4.13 es de los datos de humedad y tiene similitud con la explicación de la gráfica anterior, puesto que los pronósticos de humedad no tuvieron los mismos valores que la Mini-estación. Una vez más se comprueba que sus pronósticos en esta variable fueron erróneos. La gráfica de lluvia es más simple (Figura 4.14), pues se manejan 2 valores (0 y 1) referentes de *llueve* o *no llueve*, y como se puede apreciar en la gráfica, la Mini-estación y los otros pronósticos de la variable lluvia si coinciden en la mayoría de los datos, fueron pocos los errores de los pronósticos publicados por el SMN, Yahoo! y Meteored.

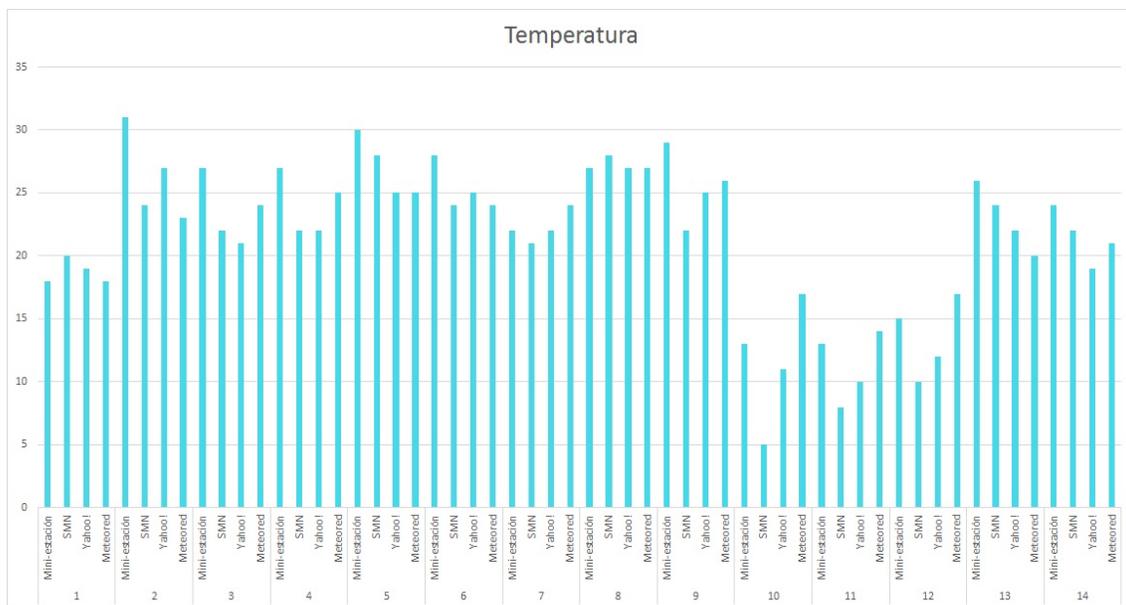


Figura 4.12: Comparación de datos: temperatura.

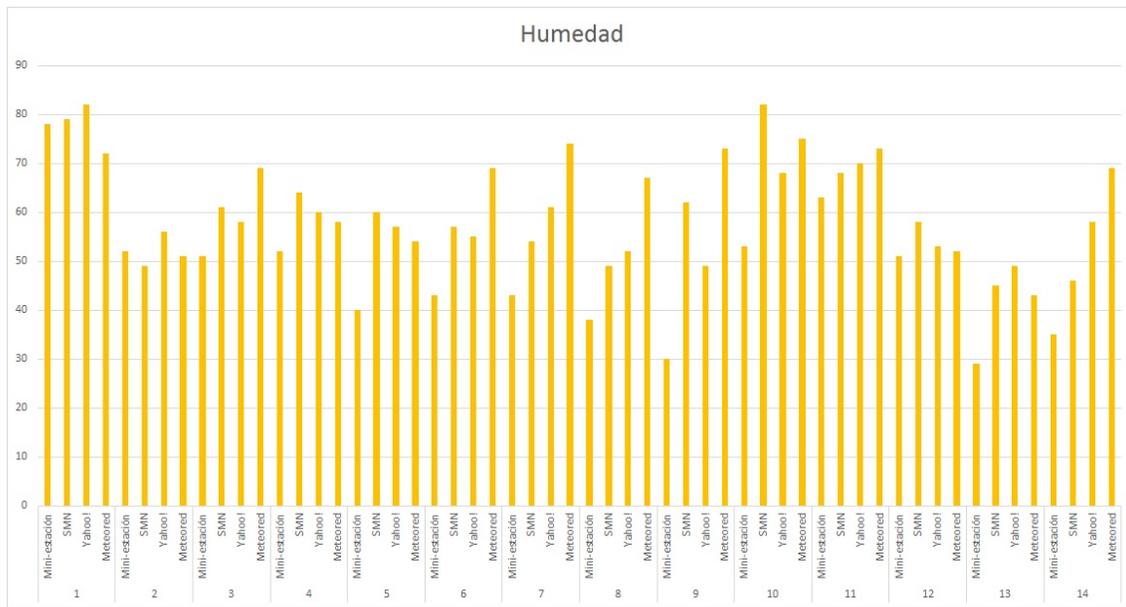


Figura 4.13: Comparación de datos: humedad.

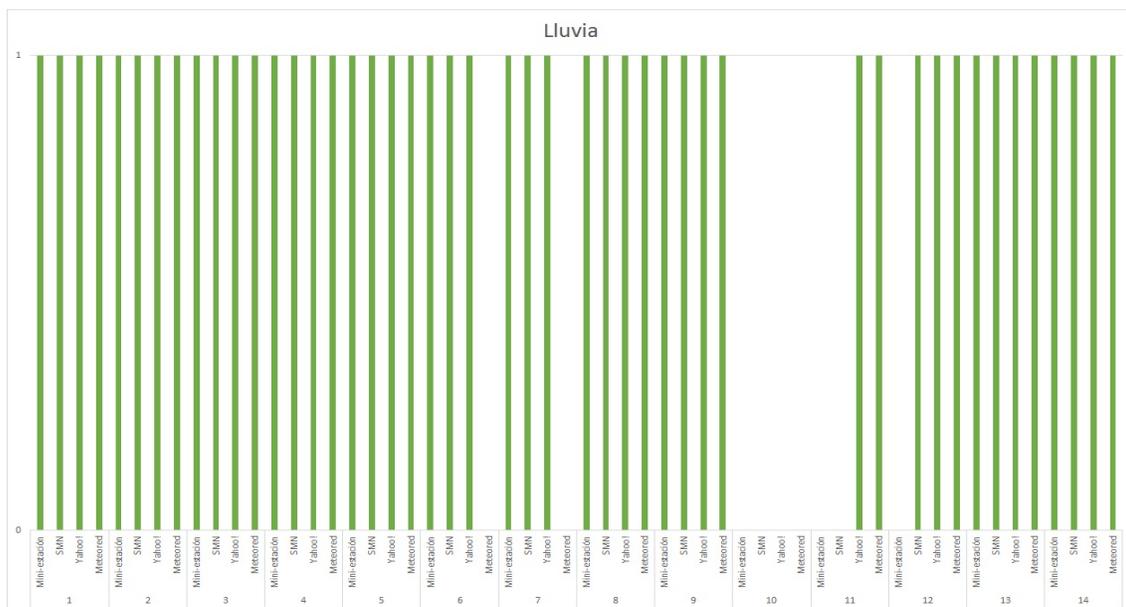


Figura 4.14: Comparación de datos: lluvia.

Los estados del clima (soleado, nublado y lluvioso) variaron durante esos días de capturas, en el eje “Y” de la gráfica el valor 0 significa que se pronosticó el día lluvioso, valor 1 significa que el día se pronosticó nublado y el valor 2 se pronosticó el día soleado. En la gráfica (Figura 4.15 se puede notar que los últimos 5 días los datos coincidieron y acertaron en sus pronósticos. Actualmente se siguen realizando capturas de datos, pues se requieren registros de un año, es importante para tener la información de las estaciones del año y se haga un trabajo completo para realizar predicciones exactas en la región de Misantla. En el anexo A.2 se muestra la gráfica de los datos recientemente capturados, esto forma parte de los trabajos futuros.

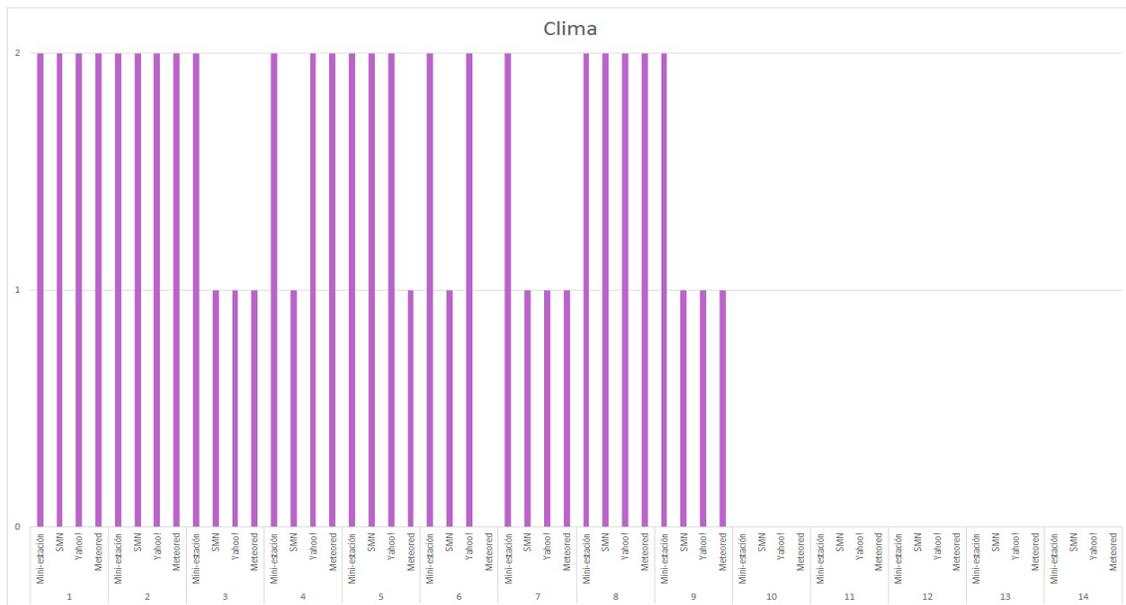


Figura 4.15: Comparación de datos: Clima.

## Aplicación Android

Se ha validado el correcto funcionamiento del dispositivo, se realizaron pruebas para la captura de las variables del clima, para ello se diseño y programó una aplicación para un smartphone con el sistema operativo Android y se probó la conexión entre en la tarjeta Arduino y la interfaz para Android por medio de un módulo bluetooth, en la Figura 4.16 se muestra en el a) la interfaz de la app diseñada en el software MIT AppInventor y en el b) se aprecia la vista de la interfaz instalada en el smartphone. Con la aplicación se pueden transmitir los datos capturados y ser mostrados en la interfaz 4.17.

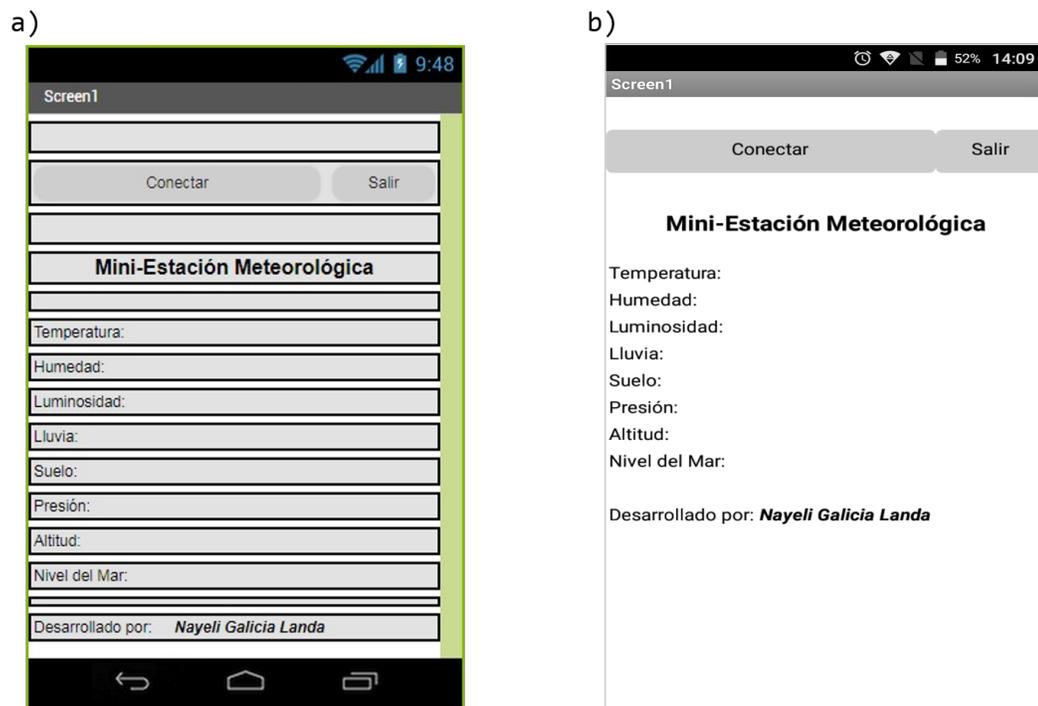


Figura 4.16: a) Diseño de la app en MIT AppInventor y b) App instalada en el smartphone.

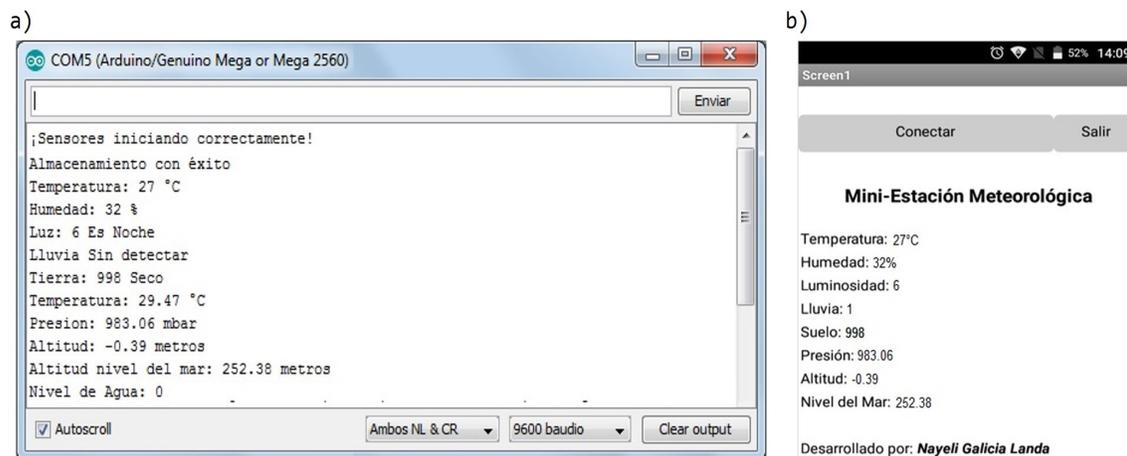


Figura 4.17: a) Monitor de Arduino (IDE) y b) App Android.

#### 4.2.2. Clasificación

El dataset esta almacenado en un fichero de tipo CSV, se cargó a Waikato Environment for Knowledge Analysis (Weka) para analizar y buscar los resultados más altos y representativos de la combinación de los Clasificadores Ensamblados y el clasificador Multilayer Perceptron que corresponde al Aprendizaje Profundo. A continuación los Clasificadores Ensamblados:

1. AdaBoostM1
2. AttributeSelectedClassifier
3. Bagging
4. ClassificationViaRegression
5. CostSensitiveClassifier
6. CVPParameterSelection
7. FilteredClassifier
8. IterativeClassifierOptimizer
9. LogiBoost
10. MulticlassClassifier
11. MulticlassClassifierUpdateable
12. MultiScheme

13. RandomCommittee
14. RandomizableFilteredClassifier
15. RandomSubSpace
16. Stacking
17. Vote
18. WeightedInstancesHandlerWrapper

La combinación de clasificadores es en la actualidad un área activa de investigación en el aprendizaje automatizado y el reconocimiento de patrones. Se han publicado numerosos estudios teórico y empíricos que demuestran las ventajas del paradigma de combinación de clasificadores por encima de los modelos individuales [3].

## Dataset en Weka

El dataset se cargó en el programa WEKA en la sección de preprocesamiento en la cual nos muestra de forma gráfica y textual el contenido del dataset, es decir, muestra los atributos, la cantidad total de registros en el dataset Anexo A.3 y de forma gráfica representa los datos de cada atributo Anexo A.4. En la figura 4.18 se muestra la interfaz de Weka con el dataset cargado, se aprecia de manera general la información del dataset.

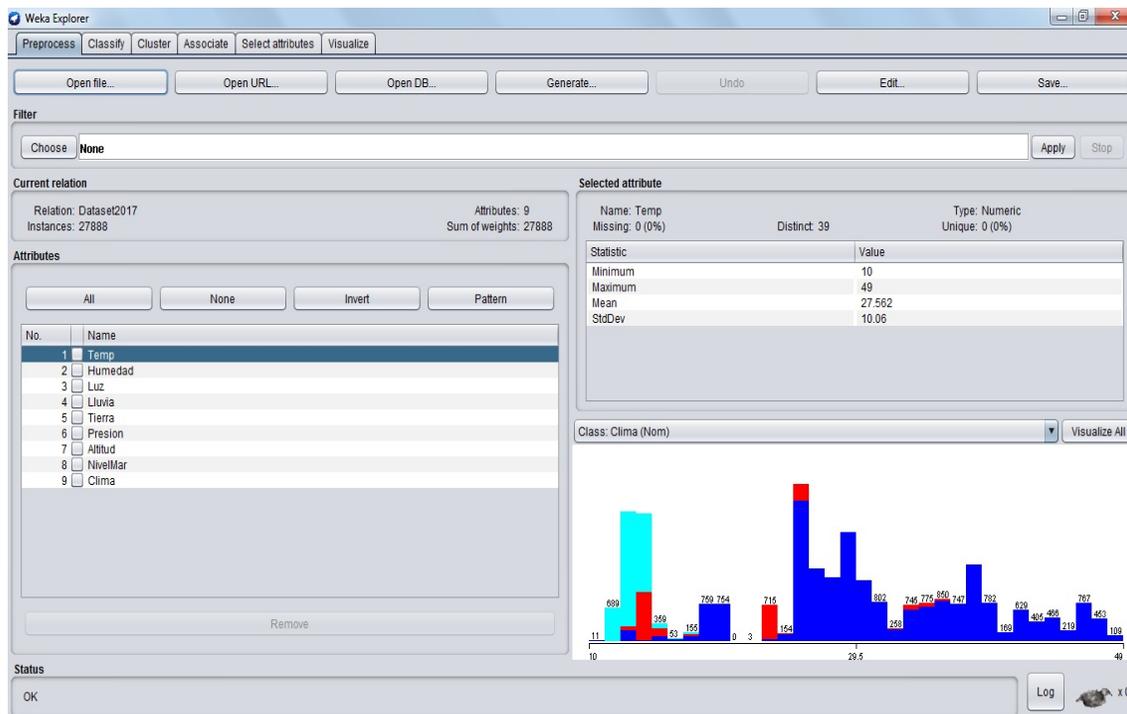


Figura 4.18: Interfaz WEKA con el dataset cargado.

# Capítulo 5

## Análisis de los Resultados

## 5.1. Combinación de Clasificadores Ensamblados y Aprendizaje Profundo

Cada combinación que se realizó (Clasificadores Ensamblados y Multilayer Perceptron) para los Criterios de Muestreo  $\frac{1}{3}$  &  $\frac{2}{3}$  con un 66.667%, la validación cruzada fue con 10 iteraciones y la muestra representativa con 98.64%, puesto que ésta última se calculó con un margen del 5%, nivel de confianza de 95% y una población (registros) de 27888, como resultado el tamaño de muestra es de 379 y equivale el 98.64%, de esta forma este porcentaje le corresponde a la muestra representativa.

Las combinaciones dieron como resultados diferentes porcentajes correctos de clasificación mostrados en la Tabla 5.1, donde la primer columna es de los Clasificadores Ensamblados, la segunda columna es Aprendizaje Profundo (A.P.) con el clasificador D14JMlpClassifier en el cual se nombró en las columnas como D14JMlp, la tercer columna es  $\frac{1}{3}$  &  $\frac{2}{3}$  o también conocido como Test Training, la cuarta columna es la Validación Cruzada (V.C.), la quinta y última columna es la Muestra Representativa (M.R.).

Tabla 5.1: Resultados de la combinación *Clasificadores Ensamblados + Multilayer Perceptron*.

Clasificador Ensamblado	A. P.	$\frac{1}{3}$ & $\frac{2}{3}$	V. C.	M. R.
	D14JMlp	<b>99.82 %</b>	<b>99.82 %</b>	99.47 %
AdaBoostM1	D14JMlp	M.Ins.	97.24 %	M.Ins.
AttributeSelectedClassifier	D14JMlp	98.00 %	98.31 %	97.10 %
Bagging	D14JMlp	M. Ins	73.89 %	74.41 %
ClassificationViaRegression	D14JMlp	74.22 %	73.89 %	74.41 %
CostSensitiveClassifier	D14JMlp	Error	Error	Error
CVParameterSelection	D14JMlp	16.73 %	73.89 %	74.41 %
FilteredClassifier	D14JMlp	99.02 %	99.22 %	98.94 %
IterativeClassifierOptimizer				
LogiBoost	D14JMlp	M. Ins.	M. Ins.	M. Ins.
MultiClassClassifier	D14JMlp	<b>99.82 %</b>	<b>99.85 %</b>	<b>99.74 %</b>
MulticlassClassifierUpdateable	D14JMlp	Error	Error	Error
MultiScheme				
RandomCommittee	D14JMlp	M. Ins.	M. Ins.	74.41 %
RandomizableFilteredClassifier	D14JMlp	96.62 %	94.80 %	98.15 %
RandomSubSpace	D14JMlp	99.10 %	98.96 %	98.94 %
Stacking				
Vote				
WeighteInstancesHandlerWrapper	D14JMlp	16.73 %	73.89 %	74.41 %

Los resultados más altos de la clasificación fueron en dos pruebas, es decir, dos

clasificaciones con diferentes algoritmos obtuvieron los resultados, en la siguiente Tabla 5.2 se muestran los mejores resultados de clasificación:

Tabla 5.2: Clasificadores con resultados altos.

Clasificador	Ensamblado	Aprendizaje P.	$\frac{1}{3}$ & $\frac{2}{3}$	V. C.	M. R.
		Dl4JMlpClassifier	99.82 %	99.82 %	
MulticlassClassifier		Dl4JMlpClassifier	99.82 %	99.85 %	99.74 %

### 5.1.1. Matriz de confusión

El dataset que se ocupó en los experimentos alcanzó el 99.82 % de correcta clasificación en dos clasificadores (*MultiClassClassifier* y *Multilayer Perceptron*) en el criterio  $\frac{1}{3}$  &  $\frac{2}{3}$ , el algoritmo *MultiClassClassifier* tuvo 99.85 % de correcta clasificación en la validación cruzada y 99.74 % en la muestra representativa, por tal motivo se toma en cuenta la matriz de confusión de los tres Criterios de Muestreo (Tabla 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 and 5.7).

#### 1/3 & 2/3

Las instancias correctamente clasificadas en la Tabla 5.3, se encuentran en la diagonal principal (6885, 839, 1555) con una suma de 9279 instancias y equivalen el 99.82 % y fuera de la diagonal (15, 0, 2, 0, 0, 0) son las instancias en las que hubo confusión entre las clases en las cuales hay 17 instancias y representan el 0.18 % de clasificación incorrecta.

Tabla 5.3: Matriz de confusión: *Multilayer Perceptron*.

a	b	c	Classified as
<b>6885</b>	15	0	<b>a = soleado</b>
2	<b>839</b>	0	<b>b = nuboso</b>
0	0	<b>1555</b>	<b>c = lluvioso</b>

En la Tabla 5.4, las instancias correctamente clasificadas se encuentran en la diagonal principal (6884, 840, 1555) con una suma de 9279 instancias y equivalen el 99.82 % y fuera de la diagonal (16, 0, 1, 0, 0, 0) son las instancias en las que hubo confusión entre las clases en las que hay 17 instancias y representan el 0.18 % de clasificación incorrecta.

Tabla 5.4: Matriz de confusión: *MultiClassClassifier + Multilayer Perceptron*

<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>Classified as</b>
<b>6884</b>	16	0	<b>a = soleado</b>
1	<b>840</b>	0	<b>b = nuboso</b>
0	0	<b>1555</b>	<b>c = lluvioso</b>

### Validación cruzada

En la matriz de confusión en la validación cruzada (Tabla 5.5), las instancias correctamente clasificadas se encuentran en la diagonal principal (20583, 2533, 4723) con una suma de 27839 instancias y equivalen el 99.82 % y fuera de la diagonal (21, 2, 26, 0, 0, 0) son las instancias en las que hubo confusión entre las clases en las que hay 49 instancias y representan el 0.18 % de clasificación incorrecta.

Tabla 5.5: Matriz de confusión: *Multilayer Perceptron*

<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>Classified as</b>
<b>20583</b>	21	2	<b>a = soleado</b>
26	<b>2533</b>	0	<b>b = nuboso</b>
0	0	<b>4723</b>	<b>c = lluvioso</b>

En la matriz de confusión en la validación cruzada (Tabla 5.6), las instancias correctamente clasificadas se encuentran en la diagonal principal (20582, 2541, 4723) con una suma de 27846 instancias y equivalen el 99.85 % y fuera de la diagonal (24, 0, 18, 0, 0, 0) son las instancias en las que hubo confusión entre las clases en las que hay 42 instancias y representan el 0.15 % de clasificación incorrecta.

Tabla 5.6: Matriz de confusión: *MultiClassClassifier + Multilayer Perceptron*.

<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>Classified as</b>
<b>20582</b>	24	0	<b>a = soleado</b>
18	<b>2541</b>	0	<b>b = nuboso</b>
0	0	<b>4723</b>	<b>c = lluvioso</b>

## Muestra representativa

En la matriz de confusión en la muestra representativa (Tabla 5.7), las instancias correctamente clasificadas se encuentran en la diagonal principal (282, 37, 59) con una suma de 378 instancias y equivalen el 99.74% y fuera de la diagonal (0, 0, 1, 0, 0, 0) son las instancias en las que hubo confusión entre las clases en las que hay 1 instancia y representa el 0.26% de clasificación incorrecta.

Tabla 5.7: Matriz de confusión: *MultiClassClassifier + Multilayer Perceptron*.

<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>Classified as</b>
<b>282</b>	0	0	<b>a = soleado</b>
1	<b>37</b>	0	<b>b = nuboso</b>
0	0	<b>59</b>	<b>c = lluvioso</b>

## Capítulo 6

# Conclusiones y Trabajos Futuros

De acuerdo a los resultados se logró transmitir la información de la tarjeta Arduino a la app Android, de esta manera se puede ver en la interfaz de la app las variables capturadas por los sensores que están integrados a la tarjeta Arduino. Durante las pruebas se tuvieron fallos técnicos que poco a poco se fueron resolviendo conforme iban surgiendo. Si algo se observó, es que los pronósticos dados en los sitios web no son certeros a pesar que se guían de la plataforma The Weather Company<sup>1</sup> pues en algunas ocasiones se aproximan a los datos del Servicio Meteorológico Nacional, el SMN obtiene sus datos de sus estaciones meteorológicas instaladas en algunos puntos importantes del país por lo tanto sus pronósticos son generalmente por estado. Durante el día hay muchas variaciones del estado del tiempo, posiblemente se deba al calentamiento global. El análisis y aplicación del Aprendizaje Profundo permitirá modificar e implementar el algoritmo con mejor resultado a la Mini-estación con sensores, es decir, hacer que el dispositivo tenga mejores funciones y capacidades sensoriales para predecir de forma certera futuros días u horas. También se tienen en cuenta algunos trabajos futuros para mejorar el dispositivo y la aplicación móvil.

- Agregar a la unidad más sensores para tomar en cuenta otras variables para realizar la predicción de lluvias y otros cambios de clima.
- Continuar con el desarrollo de la aplicación Android.
- Desarrollar otras interfaces multiplataforma para la muestra de datos capturados, gráficas y predicciones.
- Registrar a una base de datos toda la información emitida por los sensores.
- Modelar el sistema de alerta en el dispositivo y la app.
- Realizar un estudio completo de las hormigas y su comportamiento si se desea continuar con la idea que motivo este trabajo.
- Implementar algoritmos de IA u otros métodos para la emulación del comportamiento de las hormigas.
- Mejorar el dispositivo y darle el mantenimiento necesario para su buen funcionamiento.
- Monitorear y realizar capturas del clima durante un año, para tener información de las estaciones y todos los cambios de clima. Puesto que, la agricultura y ganadería están relacionadas directamente tanto con las estaciones del año como con los periodos vegetativos de los cultivos [40].
- Crear un solo dataset de los datos capturados para futuras pruebas y experimentos.

---

<sup>1</sup>Sitio oficial: [weather.com](http://weather.com)

- Realizar una nueva clasificación con los registros anuales y compararlos con los resultados de este trabajo.
- Crear una red de varias mini-estaciones meteorológicas.

# Bibliografía

- [1] ALLER, F. J. R. Pronosticadores naturales del tiempo atmosférico. *Ambio-ciencias*, 1 (2007), 36–44.
- [2] BALATON, A. Machine learning techniques for credit risk modeling in practice, feb 2017.
- [3] BONET, I. Modelo para la clasificación de secuencias, en problemas de la bioinformática, usando técnicas de inteligencia artificial. *Bioinformática. Villa Clara, Universidad Central "Martha Abreu" de las Villas* (2008).
- [4] COLLOBERT, R., AND BENGIO, S. Links between perceptrons, mlps and svms. In *Proceedings of the twenty-first international conference on Machine learning* (2004), ACM, p. 23.
- [5] COORDINADO POR GUSTAVO CARBALLEIRO., A. *EXCEL 2013*, 1a ed. RedUSERS, Sevagraf, Costa Rica 5226, Grand Bourg, Malvinas Argentinas, Pcia. de Buenos Aires, apr 2013.
- [6] CRUZ, E. Desarrollo de una aplicación para visualización de predicciones meteorológicas en dispositivos móviles, jun 2015.
- [7] DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO, I. N. Inecc:¿qué hacemos?, feb 2018.
- [8] DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA, I. N. Prontuario de información geográfica municipal de los estados unidos mexicanos, 2009.
- [9] DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA, I. N. Anuario estadístico y geográfico de veracruz de ignacio de la llave 2017. Electrónico, 2017.
- [10] DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES, S. Semanart: ¿qué hacemos?
- [11] DEL AGUA, C. N. Conagua: Objetivos y estrategias.
- [12] DEL AGUA, C. N. Conagua: ¿qué hacemos?
- [13] DONE, J., DAVIS, C. A., AND WEISMAN, M. The next generation of nwp: Explicit forecasts of convection using the weather research and forecasting (wrf) model. *Atmospheric Science Letters* 5, 6 (2004), 110–117.

- [14] EN LA UNIVERSIDAD DE WAIKATO, M. L. G. Weka 3: Software de minería de datos en java.
- [15] ENTIDAD, I. P. Clima.
- [16] FARFÁN, J. H. R., AND BARRANTES, M. F. T. Sistema prototipo de captura y análisis de datos meteorológicos, para generación de alertas y reportes de pronóstico climático acertado en el municipio de chiquinquirá. *Revista Matices tecnológicos 6* (2017).
- [17] FLAMENGO, E., REBELLA, C. M., CARBALLO, S., AND RODRÍGUEZ, R. O. Metodología de pronóstico estacional de lluvias en regiones de la argentina. methodology of seasonal rainfall forecast in argentine regions. *Revista argentina de agrometeorología. 2*, 2 (2002), 133–141.
- [18] FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION, N. C. Navy operational global atmospheric prediction system (nogaps).
- [19] FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION, N. C. Global forecast system (gfs), apr 2018.
- [20] FOR MEDIUM-RANGE WEATHER FORECASTS, E. C. Ecmwf: About us, jul.
- [21] GEOENCICLOPEDIA. Tipos de clima.
- [22] GOODFELLOW, I., BENGIO, Y., COURVILLE, A., AND BENGIO, Y. *Deep learning*, vol. 1. MIT press Cambridge, 2016.
- [23] HERNÁNDEZ DELGADO, Á. Portal web para información meteorológica.
- [24] III, W. Wavewatch iii model: Model description, nov 2016.
- [25] KEDIA, P. Localised weather monitoring system. *International Journal of Engineering Research and General Science 4*, 2 (2016), 315–322.
- [26] KRISHNAMURTHI, K., THAPA, S., KOTHARI, L., AND PRAKASH, A. Arduino based weather monitoring system. *International Journal of Engineering Research and General Science 3*, 2 (2015), 452–458.
- [27] LEARN DEVELOPERS, S. Multiclass and multilabel algorithms, feb 2017.
- [28] LECUN, Y., BENGIO, Y., AND HINTON, G. Deep learning. *nature 521*, 7553 (2015), 436.
- [29] MARROQUÍN SANTOÑA, A. Biopredictores meteorológicos.
- [30] MUNDIAL, O. M. Organización meteorológica mundial (omm): quiénes somos.

- [31] MUNDIAL, O. M. Una carrera en meteorología. *Organización Meteorológica Mundial*, 1012 (2006).
- [32] MUNDIAL, O. M. Una carrera en meteorología. *Organización Meteorológica Mundial*, 1126 (mar 2017), 40.
- [33] NACIONAL, S. M. Smn: Funciones y objetivos.
- [34] OF TECHNOLOGY, M. I. Mit app inventor: About us.
- [35] RUMELHART, D. E., HINTON, G. E., AND WILLIAMS, R. J. Learning internal representations by error propagation. Tech. rep., California Univ San Diego La Jolla Inst for Cognitive Science, 1985.
- [36] RUMELHART, D. E., HINTON, G. E., AND WILLIAMS, R. J. Learning representations by back-propagating errors. *nature* 323, 6088 (1986), 533.
- [37] SABER, E. R. D. Climas de mexico:, mar 2017.
- [38] SÁNCHEZ Y GANDARA, A. Misantla”: Cultura, tradición y leyenda, 1998.
- [39] SANTOÑA, A. M. Biopredictores meteorológicos. *Aula Magna*, 32 (mar 2011), 8–9.
- [40] SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, D. R. P. Y. A. Tipos de cultivo, estacionalidad y ciclos, oct 2016.
- [41] SMN. Glosario - servicio meteorológico nacional, aug 2017.
- [42] TORRES, H. I. R., PE ÑA, F. A. R., AND ESQUIVEL, M. C. *Geografía General: Un enfoque interactivo para bachilleres*. Grupo Editorial Patria, 2015.
- [43] URIBE, I. M., AND ZAVALA, M. V. Detección de extremos climáticos de precipitación y temperatura en el estado de guerrero. *Ingeniería* 21, 1 (2017), 13–30.
- [44] WIKIPEDIA. Modelo numérico de predicción meteorológica, jan 2018.
- [45] WITTEN, I. H., FRANK, E., TRIGG, L. E., HALL, M. A., HOLMES, G., AND CUNNINGHAM, S. J. Weka: Practical machine learning tools and techniques with java implementations.

# Apéndice A

## Anexos

### A.1. Anexo 1. Código de programación Arduino

```
#include <SD.h>
#include <SFE_BMP180.h>
#include <dht.h>
#include <DHT_U.h>
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 7
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
#define LDR A0
const int Lluvia = 8;
#define humSuelo A1
#define nAgua A3
SFE_BMP180 pressure;
double PresionBase,Presion,Altura,Temp,A;
double PresionNivelMar=1013;
char status;
File myFile;

void setup() {
Serial.begin(9600);
dht.begin();

if (pressure.begin())
Serial.println(";Sensores iniciando correctamente!")and Serial.println("");
else{ Serial.println(";Error al iniciar los sensores!");
while(1);
}
```

```

status = pressure.startTemperature();
if (status != 0) {
delay(status);
status = pressure.getTemperature(Temp);
if (status != 0) {
status = pressure.startPressure(3);
if (status != 0){
delay(status);
status = pressure.getPressure(PresionBase, Temp);
}
}
}

Serial.println("Iniciando almacenamiento");
if (!SD.begin(6)) {
Serial.println("No se pudo almacenar");
return;
}
Serial.println("Almacenamiento con éxito");

if(!SD.exists("dataset.csv"))
{
myFile = SD.open("dataset.csv", FILE_WRITE);
if (myFile) {
Serial.println("Archivo nuevo, Escribiendo encabezado(fila 1)");
myFile.println("Temperatura,Humedad,Luz,Lluvia,Tierra,Presion,
Altitud,Nivelmar,NivelAgua");
myFile.close();
} else {
Serial.println("Error al crear el archivo de almacenamiento");
}
}

}

void loop() {

//Temperatua y humedad
int h= dht.readHumidity();
int t= dht.readTemperature();
Serial.print("Temperatura: ");
Serial.print(t);
Serial.println(" °C");

```

```

Serial.print("Humedad: ");
Serial.print(h);
Serial.println(" %");

//Luminosidad
int valorLDR= analogRead(LDR);
Serial.print("Luz: ");
Serial.print(valorLDR);
if (valorLDR >= 0 && valorLDR <= 100){
Serial.println(" Es Noche");//Noche
}
else if(valorLDR > 100 && valorLDR <= 560){
Serial.println("Muy Bajo");//puesta de sol/Anochecer
}
else if(valorLDR > 560 && valorLDR <= 850){
Serial.println("Bajo");//Neblina
}
else if (valorLDR > 850 && valorLDR <=985){
Serial.println("Alto");//Cielo nuboso
}
else if(valorLDR > 985){
Serial.println("Muy Alto");//Soleado/Cielo Despejado
}

//Lluvia
int valorLluvia;
valorLluvia = digitalRead(Lluvia);
Serial.print("Lluvia ");
//Serial.print(Lluvia);
if (valorLluvia == LOW) {
Serial.println("Detectada");
}
else if (valorLluvia ==HIGH){
Serial.println("Sin detectar");
}

//Humedad de la tierra
Serial.print("Tierra: ");
int Suelo = analogRead(humSuelo);
Serial.print(Suelo);

if (Suelo <= 450)
Serial.println(" Muy humedo");

```

```

if ((Suelo > 450) and (Suelo <= 700))
Serial.println(" Humedo");
if ((Suelo > 700) and (Suelo<=1000))
Serial.println(" Seco");
if (Suelo > 1000)
Serial.println(" Muy seco");

//Presión atmosférica
status = pressure.startTemperature();
if (status != 0){
delay(status);
status = pressure.getTemperature(Temp);
if (status != 0){
status = pressure.startPressure(3);
if (status != 0){
delay(status);
status = pressure.getPressure(Presion, Temp);
if (status != 0){
Altura = pressure.altitude(Presion, PresionBase);
A=pressure.altitude(Presion,PresionNivelMar);
}
else Serial.println("Error en la lectura de presion\n");
}
else Serial.println("error iniciando la lectura de presion\n");
}
else Serial.println("Error en la lectura de temperatura\n");
}
else Serial.println("Error iniciando la lectura de temperatura\n");

Serial.print("Temperatura: ");
Serial.print(Temp);
Serial.println(" °C");

Serial.print("Presion: ");
Serial.print(Presion);
Serial.println(" mbar");

Serial.print("Altitud: ");
Serial.print(Altura);
Serial.println(" metros");

Serial.print("Altitud nivel del mar: ");
Serial.print(A);

```

```

Serial.println(" metros");

//Precipitación/nivel de lluvia
int nAgua = analogRead(3);
Serial.print("Nivel de Agua: ");
Serial.println(nAgua);

Serial.println("");

//Almacenamiento en MicroSD
//Archivo .csv
myFile = SD.open("dataset.csv", FILE_WRITE);

if (myFile) {
Serial.print("Escribiendo SD .csv: ");
myFile.print(t);
myFile.print(",");
myFile.print(h);
myFile.print(",");
myFile.print(valorLDR);
myFile.print(",");
myFile.print(valorLluvia);
myFile.print(",");
myFile.print(Suelo);
myFile.print(",");
myFile.print(Presion);
myFile.print(",");
myFile.print(Altura);
myFile.print(",");
myFile.print(A);
myFile.print(",");
myFile.println(nAgua);
myFile.close();
} else {
Serial.println("Error al abrir el archivo CSV");
}

//Archivo .txt
myFile = SD.open("dataset.txt", FILE_WRITE);

if (myFile) {
Serial.print("Escribiendo SD .txt: ");
myFile.print("Temperatura = ");

```

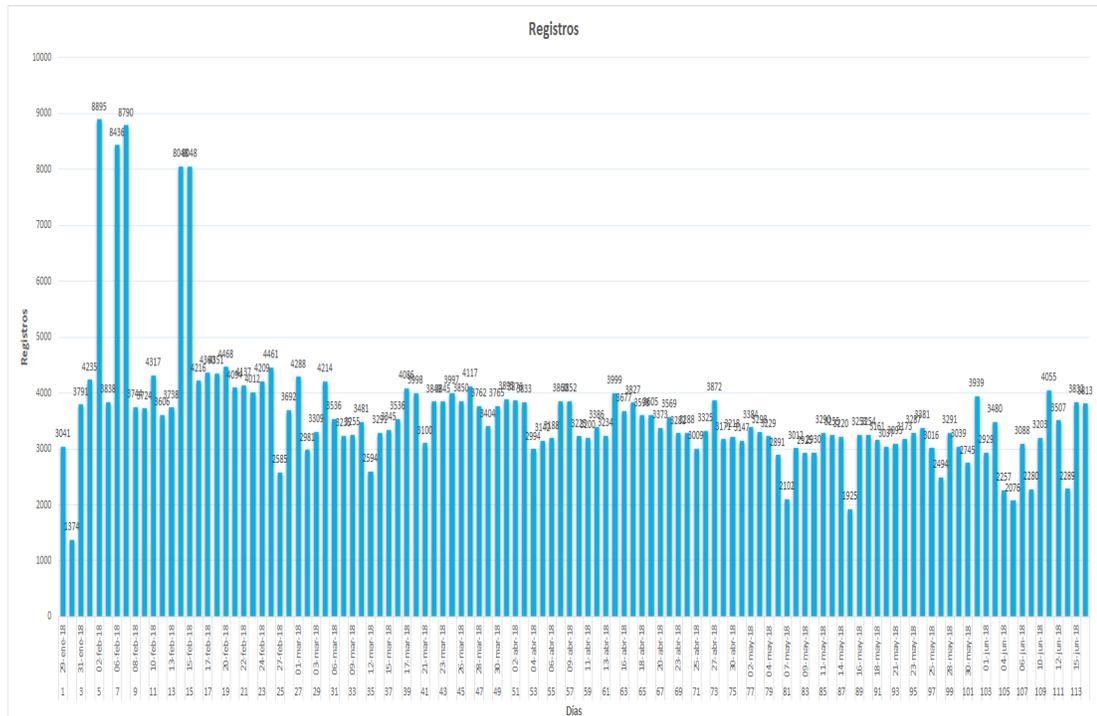
```

myFile.print(t);
myFile.print(", Humedad = ");
myFile.print(h);
myFile.print(", Luz = ");
myFile.print(valorLDR);
myFile.print(", Lluvia = ");
myFile.print(valorLluvia);
myFile.print(", Tierra = ");
myFile.print(Suelo);
myFile.print(", Presion = ");
myFile.print(Presion);
myFile.print(", Altitud = ");
myFile.print(Altura);
myFile.print(", Altitudnm = ");
myFile.print(A);
myFile.print(", NivelAgua = ");
myFile.println(nAgua);
myFile.close();
} else {
Serial.println("Error al abrir el archivo .txt");
}
Serial.println("");
delay (5000);
}

```

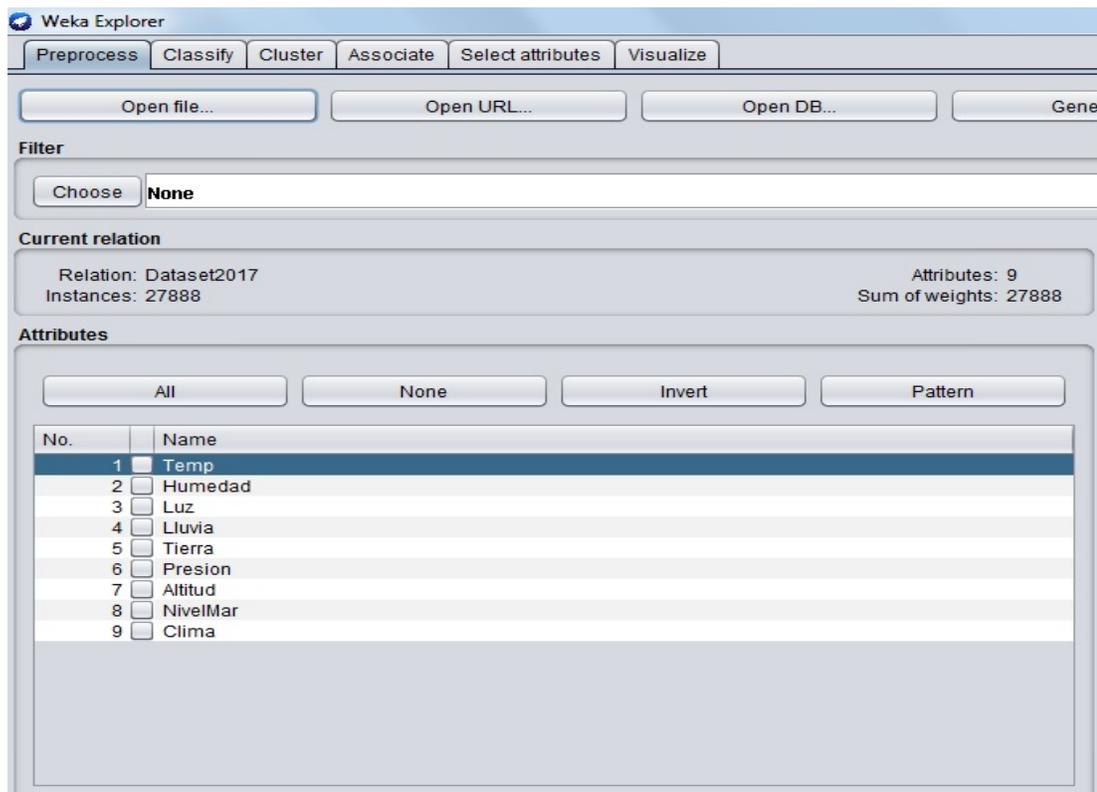
**Código Arduino.** Este es el código con el cual se programaron los sensores y permiten el funcionamiento de la Mini-estación.

## A.2. Anexo 2. Gráfica de capturas



**Capturas diarias actuales - Trabajo futuro.** Las capturas de estos datos son diarios, se realizarán en un año, teniendo los datos completos se compararán las capturas de la Mini-estación con los datos de aplicaciones y sitios web enfocados a dar los pronósticos el tiempo.

### A.3. Anexo 3. Interfaz Weka



La figura muestra la información del dataset que esta cargado en Weka, la proporciona el nombre del dataset "Dataset2017", el número de instancias 27888 y los 9 atributos para la clasificación.

## A.4. Anexo 4. Gráficos de los atributos en Weka



En la imagen anterior se visualizan todo el conjunto de datos de los atributos, para visualizarlos de forma individual esta la siguiente figura:

